

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-334418

(43)Date of publication of application : 18.12.1998

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : 09-145461

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 03.06.1997

(72)Inventor : KOBAYASHI HIROSHI

FUJITA ATSUSHI

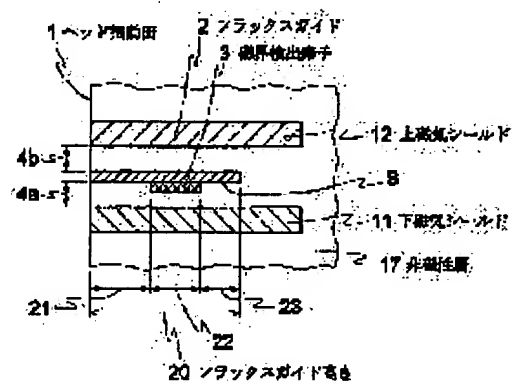
KAWANO YUJI

(54) MAGNETIC HEAD AND ITS MANUFACTURE AND MAGNETIC RECORDER USING THIS MAGNETIC HEAD

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To efficiently introduce magnetic flux into a head by magnetically combine magnetization of a ferromagnetic layer with magnetization of a magnetic flux guide film and making the magnetic flux guide film continuous until a higher position than a magnetic field detecting element in the head heightwise direction.

**SOLUTION:** A flux guide 2 as the magnetic flux guide film is formed continuously to a higher position than the magnetic field detecting element 3 in the head heightwise direction. An upper magnetic shield 12 and a lower magnetic shield 11 provided via a nonmagnetic layer 17 above and below this flux guide 2 respectively and the magnetic field detecting element 3 provided in a prescribed position adjacent to one main surface of the flux guide 2 are buried in the nonmagnetic layer 17, while an end part of the flux guide 2 and end parts of the upper magnetic shield 12 and the lower magnetic shield 11 are disposed to be in the same plane. Magnetic flux corresponding to a recording signal according to a medium is guided to the magnetic field detecting element 3 by this flux guide 2.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the

examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the (magnetic recording medium) which used the magnetic head, its process, and this magnetic head. It has high track recording density in more detail, and is related with the magnetic recording medium using the magnetic head which performs the contiguity record or contact record which wear of the magnetic head may produce, its process, and this magnetic head.

[0002]

[Description of the Prior Art] In recent years, the remarkable improvement in recording density is found centering on a hard disk drive unit, and the so-called adoption of the shielding mold MR (magnetoresistive) head using magneto-resistive effect components, such as a permalloy, as the cause is raised. Moreover, adoption of the so-called GMR (giant-magnetoresistive) head using the formula on the other hand of the giant magneto-resistance generally called spin bulb tends to start as indicated by the Nikkei electronics and No.971 (September 23, Heisei 8) 84-93 page, for example

[0003] However, the general GMR head of the structure which the end face of this giant magneto-resistance component has exposed to magnetic-recording medium vicinal faces is used for the recording device of the surfacing method on condition of wear of the magnetic head. Contact sliding with a head and a medium takes place in the recording device of the method with which the magnetic head (only henceforth a "head") is made into the structure where contact to a magnetic-recording medium (only henceforth a "medium") cannot be disregarded, on the other hand. Or if surfacing distance is comparable as the surface roughness of a medium even if it is a surfacing method, contact to a head and a medium will be assumed by fixed frequency. Thus, in the recording device of the structure which contact to a head and a medium may produce, since damage on the GMR component by wear etc. takes place, the GMR component is not used for current. In such a recording device, it is necessary to arrange a field sensing element, for example, MR component, or a GMR component inside a head. It is common to use as this approach, magnetic-flux guidance film, i.e., the flux guide, which is indicated by JP,8-255312,A, for example. The cross-section explanatory view which looked at the cross-section explanatory view which saw the conventional flux guide mold MR head from the side face to drawing 31 from the top face to drawing 32 is shown, respectively. In drawing 31 and drawing 32, 1 is a head sliding surface (only henceforth a "sliding surface"), 2a and 2b are flux guides, 3a is MR component, 5a and 5b are the magnetic gaps of a flux guide and MR component, 7 is a magnetic-recording medium (medium), 8a and 8b are electrodes, 9 is the width of recording track, 11 is bottom magnetic shielding, 12 is upper magnetic shielding, and Is is a sense current. In the following explanation of this specification, in view of a head, a sliding-surface side is called front and a sliding surface and the opposite side are called back.

[0004] While MR component 3a is arranged between the bottom magnetic shielding 11 and the upper magnetic shielding 12, before and after MR component 3a, it insulates electrically and, as for the configuration of this head, MR component 3a has flux guide 2a and 2b, respectively. While the point of front flux guide (henceforth front flux guide) 2a is exposed on the apical surface of the magnetic head which meets the magnetic-recording medium 7, i.e., a sliding surface, the back end section overlaps the front end section of MR component 3a through magnetic gap 5a. Moreover, the back end section of MR component 3a overlaps the point of back flux guide (henceforth back flux guide) 2b through magnetic gap 5b similarly. Moreover, 9 is equivalent to the width of recording track.

[0005] Below, actuation of this head is explained. It passes in order of front flux guide 2a, MR component 3a, and back flux guide 2b, and the signal field generated from a magnetic-recording medium flows to the space (it goes to drawing 31 and is a method of the right) of the bottom magnetic shielding 11 and the upper magnetic shielding 12, or the magnetic-head back end. Since the electric resistance of MR component 3a changes with the signal magnetic flux

which passes through the inside of MR component 3a, a signal field is reproducible as electrical-potential-difference change between electrode 8a and electrode 8b by passing the sense current  $I_s$  to MR component 3a from the electrodes 8a and 8b prepared in the both ends of the track cross direction of MR component 3a. Since MR component is insulated with flux guide 2a of the front and back, and 2b, the sense current  $I_s$  flows only for MR component. This fundamental actuation is the same even if the MR components 3 are GMR components, such as a spin bulb.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] One of the problems of the head (henceforth a flux guide mold MR head) using said flux guide mold MR component is that the effectiveness which changes the signal field generated from a medium as electrical-potential-difference change of a sense current is considerably inferior to the head (henceforth a shielding mold MR head) which used the usual shielding mold MR component. The reason is explained.

[0007] In the shielding mold MR head, a signal field passes MR component and flows to the space of the bottom magnetic shielding 11 and the upper magnetic shielding 12, or the magnetic-head back end. That is, the signal field generated from a medium goes into MR component of a shielding mold MR head directly.

[0008] On the other hand, since the magnetic flux after passing the magnetic reluctance of magnetic gap 5a between the magnetic reluctance of front flux guide 2a, and front flux guide 2a and the MR component 3, respectively goes into MR component in a flux guide mold MR head, before going into MR component, a great portion of signal magnetic flux will be absorbed by up-and-down magnetic shielding. Thus, since signal magnetic flux is absorbed by magnetic shielding, a flux guide mold MR head has the low effectiveness which changes a signal field. Moreover, in a flux guide mold MR head, the magnetic reluctance of magnetic gap 5a between front flux guide 2a and MR component 3a is remarkably large. The effectiveness which changes a signal field is low and the trouble that the magnetic reluctance of a magnetic gap is large originates in the structure of a flux guide mold MR head.

[0009] Moreover, the structure which prevents the loss of power by the flux guide by making common the magnetic force sensor of the GMR component film and MR component film arranged rather than the GMR component film at the sliding-surface side, without using a flux guide for JP,8-287416,A is indicated as a means to arrange a GMR component inside a head.

[0010] Furthermore, it is indicated by JP,8-287416,A that high power is obtained in the range that whose high power is obtained is range where MR height is smaller than the flying height of a head for example, whose width of face of MR component film is 10-20nm when the flying height is 20nm. However, if the flying height is [ the width of face of MR component film ] about 20nm in 20nm or a contact recording method, since the depth of the wear blemish in the head sliding surface by contact to a head and a medium may sometimes exceed [ enough ] 20nm, the layer structure by the side of the sliding surface of a GMR component may be disturbed. Moreover, there is only a maximum of about 20nm of no tolerance also to wear of a head. Although the flexible medium which applied the magnetic layer can be used especially as a magnetic-recording medium and a flexible medium is a cheap commutative medium, wear of a head becomes still larger and the problem that the layer structure by the side of a sliding surface may be disturbed becomes more remarkable.

[0011] Moreover, an example of the conventional flux guide mold MR head is indicated by JP,7-230610,A, for example. Drawing 33 is the cross-section explanatory view seen from the top face of the conventional flux guide mold MR head. In drawing 33, 14 is a bottom gap and other signs are as common as drawing 31 and drawing 32. As shown in drawing 33, front flux guide 2a, MR component 3a, and back flux guide 2b touch, and are arranged, and the head which sets the ratio of the thickness of front flux guide 2a, and the specific resistance of a front flux guide and the specific resistance of MR component 3a as the predetermined range is indicated. However, since the thickness of front flux guide 2a cannot deal in 0.02 micrometers of high playback outputs desirably unless it is 0.05 micrometers or more it has the trouble that it cannot respond to high track recording density.

[0012] Moreover, with this structure, it is easy to generate pinning to magnetization rotation in the interface of a front flux guide and MR component 3a. There is a trouble of being easy to generate the Barkhausen noise to which rotation of magnetization becomes discontinuous and a regenerative signal is distorted by this pinning.

[0013] It is made in order that this invention may solve the above problems, and the purpose of this invention arranges a field sensing element inside a head, and it is in offering the head which is high sensitivity and was excellent in abrasion resistance.

[0014] Moreover, it is in other purposes of this invention offering the approach of manufacturing cheaply the head which a field sensing element is arranged inside a head, and is high sensitivity, and was excellent in abrasion resistance

[0015] Moreover, it is in the purpose of further others of this invention offering the recording device using the head which a field sensing element is arranged inside a head, and is high sensitivity, and was excellent in abrasion resistance

and the flexible medium which applied the magnetic layer.

[0016]

[Means for Solving the Problem] The magnetic-flux guidance film with which the magnetic head in connection with claim 1 of this invention has soft magnetic characteristics (flux guide), Two magnetic shielding of this magnetic-flux guidance film prepared through a non-magnetic layer, respectively up and down, The field sensing element prepared in the position which touches one principal plane of this magnetic-flux guidance film is provided. It is arranged so that the edge of two magnetic shielding may become the same flat-surface top, and a part of sliding surface as the magnetic head is made. this magnetic-flux guidance film -- and -- this -- Said field sensing element contains the ferromagnetic layer from which the direction of magnetization changes with the external magnetic fields in the location distant from this sliding surface. Said magnetic-flux guidance film is the magnetic head which leads the magnetic flux corresponding to the record signal specified by the external magnetic field to said field sensing element. (1) On said position, a laminating is carried out and magnetization of said ferromagnetic layer is magnetically combined with magnetization of this magnetic-flux guidance film so that said ferromagnetic layer contained in this field sensing element may touch said magnetic-flux guidance film directly. (2) -- said magnetic-flux guidance film is the magnetic head which is continuing to a location higher than said field sensing element to the head height direction. [ and ]

[0017] In the head in connection with claim 2 of this invention Said field sensing element is a huge magnetic effect component. This huge magnetic effect component The 1st ferromagnetic layer, Magnetization of the 1st ferromagnetic layer is magnetically combined with magnetization of this magnetic-flux guidance film. from a non-magnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer -- becoming -- this -- the 1st ferromagnetic layer -- said some of magnetic-flux guidance film -- a laminating is turned up -- having -- this -- And the thing currently continued to a location higher than said huge magnetic effect component to the head height direction said magnetic-flux guidance film Since the magnetic flux corresponding to the signal field which flows into a flux guide can be efficiently introduced into the interior of a head, and the rotation of magnetization and the rotation of magnetization of the magnetic force sensor of a field sensing element according to the signal field of a flux guide can be combined directly, and it can deal in an efficient head, it is desirable.

[0018] In the head in connection with claim 3 of this invention, the distance of said sliding surface and the end face of the side near this sliding surface of said field sensing element is 0.1 micrometers or more, and since not exceeding 30 times of the distance of said field sensing element and magnetic shielding which is most close to this field sensing element can introduce efficiently into the interior of a head the magnetic flux corresponding to the signal field which flows into a flux guide, and it can deal in an efficient head, it is desirable.

[0019] In the head in connection with claim 4 of this invention With said sliding surface of said magnetic-flux guidance film, the distance of the end face of the opposite side and the end face of a side far from said sliding surface of said field sensing element That they are 1/2 or more times [ 10 or less ] of the distance of the both ends of the head height direction of said field sensing element to the part magnetically combined with the field sensing element of a flux guide by switched connection Since the magnetic flux corresponding to a signal field can be drawn efficiently, and it can deal in an efficient head, it is desirable.

[0020] In the head in connection with claim 5 of this invention, when the saturation magnetization of said magnetic-flux guidance film was set to  $M_f$ , thickness was set to  $T_f$ , the saturation magnetization of the magnetic force sensor of said field sensing element is set to  $M_1$  and thickness is set to  $T_1$ , it is easy for control of the magnetic domain of a flux guide for it to be  $0.2 \leq (M_1, T_1)/(M_f T_f) \leq 0.7$ , and playback sensibility is high, and since a noise can deal in a small head, it is desirable.

[0021] In the head in connection with claim 6 of this invention, since it can deal in an efficient head that the thickness  $T_f$  of said magnetic-flux guidance film is  $0.5 \text{ nm} \leq T_f \leq 20 \text{ nm}$ , it is desirable.

[0022] The magnetic-flux guidance film with which the magnetic recording medium in connection with claim 7 of this invention has the magnetic head and a magnetic-recording medium, and this magnetic head has soft magnetic characteristics, Two magnetic shielding of this magnetic-flux guidance film prepared through a non-magnetic layer, respectively up and down, The field sensing element prepared in the position which touches one principal plane of this magnetic-flux guidance film is provided. It is arranged so that the edge of two magnetic shielding may become the same flat-surface top, and a part of sliding surface as the magnetic head is made. this magnetic-flux guidance film -- and -- this -- Said field sensing element contains the ferromagnetic layer from which the direction of magnetization changes with the external magnetic fields in the location distant from this sliding surface. Said magnetic-flux guidance film leads the magnetic flux corresponding to the record signal specified by this external magnetic field to said field sensing element. Said magnetic-recording medium is a flexible medium, and it is the magnetic recording medium which comes to contain the binder holding the magnetic particle contained in this magnetic-recording medium, and this

magnetic particle. (1) On said position, a laminating is carried out and magnetization of said ferromagnetic layer is magnetically combined with magnetization of this magnetic-flux guidance film so that said ferromagnetic layer contained in said field sensing element may touch said magnetic-flux guidance film directly. (2) -- said magnetic-flux guidance film is a magnetic recording medium which is continuing to a location higher than said field sensing element to the head height direction. [ and ]

[0023] In the magnetic recording medium in connection with claim 8 of this invention Said field sensing element is a huge magnetic effect component. This huge magnetic effect component The 1st ferromagnetic layer, Magnetization of the 1st ferromagnetic layer is magnetically combined with magnetization of this magnetic-flux guidance film. from a non-magnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer -- becoming -- this -- the 1st ferromagnetic layer -- said some of magnetic-flux guidance film -- a laminating is turned up -- having -- this -- And the thing currently continued to a location higher than said huge magnetic effect component to the head height direction said magnetic-flux guidance film Since the magnetic flux corresponding to the signal field which flows into the magnetic-flux guidance film can be efficiently introduced into the interior of a head, and the rotation of magnetization and the rotation of magnetization of the magnetic force sensor of a field sensing element according to the signal field of the magnetic-flux guidance film can be combined directly, and it can deal in an efficient head, it is desirable.

[0024] In the magnetic recording medium in connection with claim 9 of this invention, the distance of said sliding surface and the end face of the side near this sliding surface of said field sensing element is 0.1 micrometers or more, and since not exceeding 30 times of the distance of said field sensing element and magnetic shielding which is most close to this field sensing element can introduce efficiently into the interior of a head the magnetic flux corresponding to the signal field which flows into a flux guide, and it can deal in an efficient head, it is desirable.

[0025] In the magnetic recording medium in connection with claim 10 of this invention With said sliding surface of said magnetic-flux guidance film, the distance of the end face of the opposite side and the end face of a side far from said sliding surface of said field sensing element That they are 1/2 or more times [ 10 or less ] of the distance of the both ends of the head height direction of said field sensing element to the part magnetically combined with the field sensing element of a flux guide by switched connection Since the magnetic flux corresponding to a signal field can be drawn efficiently, and it can deal in an efficient head, it is desirable.

[0026] In the magnetic recording medium in connection with claim 11 of this invention, when the saturation magnetization of said magnetic-flux guidance film was set to  $M_f$ , thickness was set to  $T_f$ , the saturation magnetization of the magnetic force sensor of said field sensing element is set to  $M_1$  and thickness is set to  $T_1$ , it is easy for control of the magnetic domain of a flux guide for it to be  $0.2 \leq (M_1, T_1)/(M_f, T_f) \leq 0.7$ , and playback sensibility is high, and since a noise can deal in a small head, it is desirable.

[0027] In the magnetic recording medium in connection with claim 12 of this invention, since it can deal in an efficient head that the thickness  $T_f$  of said magnetic-flux guidance film is  $0.5 \text{ nm} \leq T_f \leq 20 \text{ nm}$ , it is desirable.

[0028] In the magnetic recording medium in connection with claim 13 of this invention, since that the average surface roughness of said magnetic-recording medium is 0.1nm or more 10nm or less can deal in a cheap magnetic recording medium, it is desirable.

[0029] The process of the magnetic head in connection with claim 14 of this invention The process which forms the 1st magnetic shielding, the process which forms the 1st (a-2) insulating layer, (a-1) The process which carries out the laminating of the field sensing element one by one, the process which regulates field (a-4) sensing element height, (a-3) The 2nd insulator layer is formed with the resist left used for regulation of field sensing element height. (a-5) The process which carries out lift off after it, the process which forms the magnetic-flux (a-6) guidance film, (a-7) The process which forms the wiring material film by the lift-off method, the process which regulates magnetic-flux (a-8) guidance film height, the process which forms the 3rd (a-9) insulating layer, and the process which forms the 2nd (a-10) magnetic shielding are included.

[0030] Moreover, the process of the magnetic head in connection with claim 15 of this invention The process which forms the 1st magnetic shielding, the process which forms the 1st (b-2) insulating layer, (b-1) The process which forms the 1st magnetic-flux guidance film, the process which carries out the laminating of the field (b-4) sensing element one by one, (b-3) The 2nd magnetic-flux guidance film is formed with the process which regulates field sensing element height, and the resist left used for regulation of field (b-6) sensing element height. (b-5) The process which carries out lift off after it, the process which forms the wiring material (b-7) film by the lift-off method, the process which regulates magnetic-flux (b-8) guidance film height, the process which forms the 2nd (b-9) insulating layer, and the process which forms the 2nd (b-10) magnetic shielding are included.

[0031] As for the field sensing element using MR, GMR, etc., a signal changes by change of the sense of magnetization of a magnetic force sensor, i.e., change of a magnetization angle of rotation. The head of the conventional flux guide

mold introduces the magnetic flux corresponding to a signal field into the interior of a flux guide, impresses a field to a field sensing element by that cause, and is changing the sense of magnetization of a magnetic force sensor as the result. For this reason, it is inefficient, in order for conversion of the three-stage of changing into magnetic flux, changing into a field, and changing into a magnetization angle of rotation further to be between a signal field and a field sensing element and to detect change of magnetization.

[0032] According to this invention, by switched connection The magnetization rotation inside a flux guide In order to consider directly (it is only hereafter called "magnetization rotation of a flux guide") as the magnetization rotation (only henceforth magnetization rotation of "magnetic force sensor") inside the magnetic force sensor of a field sensing element, Since the conversion efficiency between a signal field and a field sensing element is very good and the flux guide is continuing to the interior of a head further rather than the field sensing element It is few, and during a flux guide, the effect of an anti-field by the magnetic pole which appears in the sliding surface of a flux guide and the edge of the opposite side can be efficient, and can draw the magnetic flux corresponding to the signal field generated from the medium to the interior of a head. Furthermore, since the flux guide is continuing, it is hard to generate the part which carries out the pin stop of the magnetization rotation used as the reason of Barkhausen noise generating.

[0033] Although the field sensing element has been arranged inside a head so that tolerance may be given to this thermal asperity, head wear, etc., although turbulence of the signal produced with the frictional heat which for the above reason is generated when a head and a medium contact is generally called thermal asperity, compared with the conventional head, it may have still higher playback sensibility and stability.

[0034] Furthermore, the distance of the edge of a field sensing element and a head sliding surface can raise the abrasion characteristics-proof of a head by a certain thing by 0.1 micrometers or more. Moreover, when said distance is 30 or less times of the distance of the part which is most close among magnetic shielding of one of the upper and lower sides it can respond to the signal field generated from the medium, and can make it small to decrease, when being absorbed by magnetic shielding, by the time the magnetic flux drawn in the flux guide arrives at the edge of a field sensing element.

[0035] Furthermore, the distance of the end face of the opposite side of the magnetic-head sliding surface of a flux guide and the end face of a side far from the magnetic-head sliding surface of a field sensing element can make small attenuation of the magnetic flux which passes a flux guide by a certain thing also in the location of the end face of a side far from the magnetic-head sliding surface of a field sensing element 1/2 or more of the field sensing element height which is the distance of the both ends of the head height direction of a field sensing element.

[0036] Furthermore, set the saturation magnetization of the magnetic-flux guidance film to  $M_f$ , and set thickness to  $T_f$ , and express the saturation magnetization of the magnetic force sensor of a field sensing element as  $M_1$ , and thickness is expressed as  $T_1$ . When the magnetic force sensor of the magnetic-flux guidance film or a field sensing element consist of multilayers and  $M_f$ - $T_f$  and  $M_1$ , and  $T_1$  shall be expressed with the numeric value adding the product of the saturation magnetization of each class, and thickness, formula (1) :  $R = (M_1, T_1) / (M_f - T_f)$  (1)

the ratio obtained as be alike -- the magnetic properties of the magnetic force sensor of a field sensing element can lessen effect which it has on magnetization rotation actuation of a flux guide in the range which does not lose the function of the magnetic force sensor of a field sensing element by having made the value of  $R$  into 0.2 or more and 0.1 or less.

[0037] Furthermore, the magnetic properties of the part magnetically combined by switched connection in the magnetic force sensor of a field sensing element in the flux guide can make effect of the magnetic properties of a magnetic force sensor hard to be influenced while enlarging magnetic flux drawn during a flux guide corresponding to the signal field generated from the medium when the thickness of a flux guide was 5nm or more. Moreover, when the thickness of a flux guide is 20nm or less, the sensibility of a longitudinal direction can be raised and the insulation with magnetic shielding can be made easy.

[0038] Moreover, it sets to an antiferromagnetism layer, the 2nd ferromagnetic layer, a non-magnetic layer, and the field sensing element to which the laminating of the 1st ferromagnetic layer membrane is carried out one by one. By forming the 2nd insulator layer, with two processes, i.e., the process which regulates field (a-4) sensing element height, and the resist left used for regulation of field (a-5) sensing element height, and being with the process which carries out lift off after it Since an antiferromagnetism layer, the 2nd ferromagnetic layer, etc. by which a flux guide is included in a GMR component are contacted, it can prevent that magnetic properties are confused. Moreover, it can deal in the stability of the magnetic properties of a flux guide by making the membrane formation side of a flux guide flat.

[0039] Moreover, it sets to the field sensing element to which the laminating of the 1st ferromagnetic layer, a non-magnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer is carried out one by one. Two processes, i.e., the process which forms the 1st (b-3) flux guide film, The process which performs the process which



carries out the laminating of the 1st ferromagnetic layer, a non-magnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer one by one, and regulates field (b-5) sensing element height further, (b-4) (b-6) By forming the 2nd flux guide, with the resist left used for regulation of field sensing element height, and using the process which carries out lift off after it Since the process which regulates field sensing element height can be manufactured without using the lift-off method, stabilization of the property of a field sensing element is obtained.

[0040] Moreover, although it is cheap, since the head in connection with this invention can permit wear of a constant rate also to the flexible medium which is inferior in surface roughness as compared with a spatter hard disk medium, it deals in a reliable head media interface. Moreover, since a field sensing element can fully be similarly separated from a sliding surface to thermal asperity, the problem of wear of a head is avoidable. Furthermore, while being able to increase the tolerance of the problem mentioned above by setting average surface roughness Ra of a flexible medium to 10nm or less, effectual opening loss in the case of a contact recording method or a low surfacing recording method can be made almost unrelated to the surface roughness of a medium.

[0041]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained to a detail, referring to an accompanying drawing.

[0042] Gestalt 1. drawing 1 and drawing 2 of operation are the cross-section explanatory view which looked at the principal part of the magnetic head (head) in connection with the gestalt of 1 operation of this invention from the cross-section explanatory view and the lower part which were seen from the side face, respectively. In drawing 1, 1 is a head sliding surface (sliding surface), and 2 is a flux guide which is the magnetic-flux guidance film. For example, the film of presentation Co91.6Zr2.5Nb5.9 (at%) is formed by the spatter. It has uniaxial anisotropy with a thickness of about 10nm crosswise [ truck ], and it is formed so that it may continue to a high location to the head height direction (it is only called the head height direction the direction of a normal of a sliding surface, and the following) rather than the field sensing element 3 described below. Moreover, 3 is a field sensing element, 11 is bottom magnetic shielding, 12 is upper magnetic shielding, 4a is the bottom gap length equivalent to the distance of the top face of magnetic shielding 11, and the inferior surface of tongue of the flux guide 2, and 4b is the upper gap length equivalent to the distance of the inferior surface of tongue of the upper magnetic shielding 11, and the top face of the flux guide 2. 17 is a non-magnetic layer, 20 is flux guide height which is the overall length of a flux guide, and is drawing-in height in which 21 is equivalent to the distance of a sliding surface 1 and the end face of the side near the sliding surface 1 of the field sensing element 3, 22 is the field sensing element height equivalent to the width of face of the field sensing element 3, and 23 is the outflow height equivalent to the distance of the end face of a side far from the sliding surface 1 of the field sensing element 3, the sliding surface 1 of the flux guide 2, and the end face of the opposite side. Parts other than a flux guide, a field sensing element, upper magnetic shielding, and bottom magnetic shielding are non-magnetic layers 17 among the principal parts of the head shown in drawing 1. Moreover, in drawing 2, 8a and 8b are electrodes, and 9 is equivalent to regenerative-track width of face. As shown in drawing 1 and drawing 2, the head in connection with this invention A flux guide, and upper magnetic shielding of a flux guide prepared through a non-magnetic layer 17, respectively up and down and bottom magnetic shielding, The field sensing element prepared in the position which touches one principal plane ( drawing 1 is shown by Sign S) of a flux guide is embedded at a non-magnetic layer 17. And it is arranged so that the edge of the edge of a flux guide, upper magnetic shielding, and bottom magnetic shielding may become the same flat-surface top, and it is made for this flat surface to have a part of sliding surface as a head made. The flux guide 2 leads the magnetic flux corresponding to the record signal by the medium to a field sensing element, is formed with the ingredient which has soft magnetic characteristics, and can raise Co-Zr-Nb as an example of an ingredient. The ingredient which has soft magnetic characteristics is used and up-and-down magnetic shielding can raise Co-Zr-Nb etc. as an example. Moreover, for example, into the non-magnetic layer 17 which consists of aluminum 2O3 etc., as these components are embedded, they are arranged.

● [0043] The cross-section expansion explanatory view of the GMR component of spin bulb structure is shown in drawing 3 as an example of a field sensing element. It is the 1st ferromagnetic layer which 31 turns into from two-layer [ of 31a and 31b ] in drawing 3. The 1st ferromagnetic layer is equivalent to the magnetic force sensor of a field sensing element. 31a The permalloy film with a thickness of 4nm, 31b -- Co film with a thickness of 1nm -- some predetermined flux guides 2 -- the principal plane top expressed with the sign S of a top, i.e., drawing 1, -- and -- for example, the laminating of the drawing-in height 21 is carried out to the location where 0.5 micrometers and the outflow height 23 become [ 0.3 micrometers and the field sensing element height 22 ] 0.3 micrometers. 32 is a spacer which consists of a non-magnetic layer for separating the switched connection of the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer, for example, is Cu film with a thickness of 2.3nm. 33 is 2nd ferromagnetic layer which consists of two-layer [ of 33a and 33b ], for example, 33a is the permalloy film with a thickness of 4nm, and 33b is Co



film with a thickness of 1nm. Moreover, 34 is an antiferromagnetism layer which consists of NiO with a thickness of 50nm.

✱ [0044] As a field sensing element, MR component and the tunnel MR component (henceforth a TMR component) other than a GMR component can be used. A TMR component uses the effectiveness that the tunnel current which flows between the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer changes with the differences of the sense of relative magnetization of the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer. When using MR component, as a field sensing element, it is good in the 1st ferromagnetic layer, i.e., the magnetic force sensor of a field sensing element. Moreover, the bias field (henceforth a horizontal bias field) for leaning the sense of magnetization of the magnetic force sensor of a field sensing element in the head height direction about 45 degrees from the track cross direction which is the direction of an easy axis is needed. As the field impression approach, a current line can be arranged through an insulating layer on for example, a field sensing element, and the field generated according to the current which flows on the current line can be used. When using a TMR component, a spacer is an ultra-thin insulator layer without the pinhole and distortion like the natural oxidation film of aluminum. Moreover, Electrodes 8a and 8b are connected to the 1st ferromagnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, or its reverse, respectively. The ferromagnetic layer of the predetermined configuration of a flux guide which it turns a laminating up, and magnetization of a ferromagnetic layer is magnetically combined with magnetization of a flux guide in part up, and the flux guide is following to a location higher than field sensing element height to the head height direction it is a magnetic force sensor in any case of whose is the same. Since said ferromagnetic layer is used as the magnetic force sensor of a field sensing element, the ingredient which has soft magnetic characteristics, such as nickel79-Fe21, is used. Moreover, when a field sensing element is GMR, a spacer is nonmagnetic in order to separate the switched connection of the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer, and the small ingredient of electronic dispersion is suitable by the interface with the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer, and it can raise copper as an example. The sense of magnetization is fixed by the antiferromagnetism layer and, as for the 2nd ferromagnetic layer, nickel-Fe is raised as well as the 1st ferromagnetic as an example by it. Furthermore, a switched connection field is large, the blocking temperature which is the temperature whose switched connection field is lost is high, the ingredient which has practical corrosion resistance is used, and an antiferromagnetism layer can raise Ir-Mn etc. as an example.

[0045] Actuation of the magnetic head in connection with the gestalt of this operation is explained below. The cross-section explanatory view seen from the side face when the magnetization transition region 41 of a medium 7 comes directly under the flux guide 2 of a head is indicated to be the head which is the gestalt of the 1 operation of this invention to drawing 4 . Moreover, the sectional view seen from the side face when the magnetization transition region 41 moves to a longitudinal direction relatively one by one is shown in drawing 5 and drawing 6 . In drawing 4 , drawing 5 , and drawing 6 , 41 is a magnetization transition region, 7 is a magnetic-recording medium (medium) and other signs are [ 42 is the flow (only henceforth "magnetic flux") of magnetic flux, and ] as common as drawing 1 . Moreover, in order to show the flow of magnetic flux, the flux guide etc. omitted and showed hatching. Here, the magnetization direction of a medium is set up so that N pole and N pole may counter across the magnetization transition region 41, therefore magnetic flux 42 is also illustrated so that an arrow head may counter across a magnetization transition region. As shown in drawing 4 , magnetic flux 42 flows into the flux guide 2 from a medium 7, and most is attained to near the end face of a side far from the sliding surface 1 of the flux guide 2, it escapes from it to the bottom magnetic shielding 11 and the upper magnetic shielding 12, and a part escapes from it from the middle of the flux guide 2 to the bottom magnetic shielding 11 and the upper magnetic shielding 12. However, magnetic flux 42 shows notionally the magnitude of the direction of an arrow head, the direction where magnetic flux flows by die length, and a number. Fixed magnetization rotation is performed according to the magnetic flux to which each part of the flux guide 2 flows. Since magnetization of the 1st ferromagnetic layer 31 equivalent to the magnetic force sensor of the GMR component used as a field sensing element 3 is combined by magnetization and switched connection of the flux guide 2, in the 1st ferromagnetic layer 31 which is a magnetic force sensor, magnetization rotation comparable as magnetization rotation of the flux guide 2 takes place. It is a formula (1) although mentioned later in detail. :  $R = (M1, T1) / (Mf - Tf) \quad (1)$

the ratio obtained as be alike -- since R was made about into 0.6, the effect of magnetization of the 1st [ to magnetization rotation of a flux guide ] ferromagnetic layer 31 is small, and this becomes comparable as the case when only the flux guide 2 is taken into consideration. Change of resistance is obtained considerable the bottom whenever [ magnetization angle-of-rotation / of the 1st ferromagnetic layer 31 / , i.e., magnetization angle of rotation of flux guide, and angular relation / of magnetization of each other of the 2nd ferromagnetic layer 33 fixed to the antiferromagnetism layer 34 ]. In drawing 2 , it can deal in a signal corresponding to resistance change of the field

sensing element 3 as electrical-potential-difference change between Electrodes 8a and 8b by passing the sense current of constant value from electrode 8a to electrode 8b, using this resistance change.

[0046] In order for the magnetic flux which came out from about 41 magnetization transition region to flow into one magnetic shielding (here upper magnetic shielding 12) directly next rather than it flows into the flux guide 2 when the magnetization transition region 41 moves to a longitudinal direction relatively one by one as shown in drawing 5, the magnetization angle of rotation of the 1st ferromagnetic layer 31 in the field sensing element 3 becomes small. That is, the spatial resolving power of the longitudinal direction of the magnetic head improves, so that bottom gap length 4a and upper gap length 4b are narrow. The rate of which the magnetic flux which once flowed into the flux guide does not arrive to the field sensing element 3 on the other hand, but it slips out to magnetic shielding becomes so large that bottom gap length 4a and upper gap length 4b are narrow.

[0047] Gestalt 1. of the operation of this invention to the next is explained more to a detail. Drawing 7 is a graph which shows distribution of the flux density in the flux guide at the time of using the medium of coercive force 340 kA/m, residual magnetization 0.42T, and 0.2 micrometers of medium thickness. The axis of abscissa shows (distance from sliding surface)/(gap length), and the axis of ordinate shows gap length. Moreover, (b) of drawing 7 expands and indicates the range from 0.8 to 1 of flux density (T) to be 0 to 10 of (distance from sliding surface)/(gap length) among (a) of drawing 7. In drawing 7, each of flux guide height and distance from a sliding surface is standardized by gap length, and the flux density in a flux guide is shown. That is, when changing the distance from a sliding surface which made the parameter the value Q which  $\frac{\text{flux guide height}}{\text{gap length}}$ , and was similarly standardized by gap length in each head which set up flux guide height so that a value Q might be set to 10, 20, 30, 40, or 100, it is shown how the flux density in a flux guide changes. However, the arrangement relation between a head and a medium is the same as that of the arrangement shown in drawing 4, and the thickness of 1T and a flux guide of the saturation magnetic flux density of the flux guide 2 is 10nm. As shown in drawing 15 mentioned later, when having  $\frac{\text{flux guide height}}{\text{gap length}}$  and standardized the distance from a sliding surface by gap length as mentioned above sets the flux density in a flux guide constant, the distance and gap length from a sliding surface are because it has a proportional relation. As shown in drawing 7, the flux density under flux guide is max in the distance 1-4 from the standardized sliding surface.

Therefore, it turns out [ which standardized arrangement of the field sensing element 3 ] that flux density will become high most about 1 and the standardized field sensing element height 22 in it by drawing if height 21 is made or less into three, therefore playback sensibility becomes high. However, with the gestalt of operation of the head made as an experiment, in consideration of the convenience and the dependability demanded of manufacture precision, each of upper gap lengths and bottom gap lengths was set to 0.1 micrometers, and the drawing-in height 21 set 0.3 micrometers and the field sensing element height 22 to about 0.5 micrometers. Although drawing-in height expresses the distance of a sliding surface and the end face of the side near the sliding surface of a field sensing element, drawing-in height is defined in the range which is 0.1 micrometers or more and does not exceed 30 times of the distance of a field sensing element and most close magnetic shielding.

[0048] Here, 0.1 micrometers and the reason to limit are that the effect (henceforth thermal asperity) which it has on the magnetic parametric performance of the flash plate temperature produced from the frictional heat generated when a head contacts the projection in the irregularity on the front face of a medium besides a wear-resistant viewpoint can ignore as a matter of fact. Drawing-in height is 10% or less by 0.1 micrometers to fluctuation of the playback output according [ drawing-in height ] to thermal asperity occurring about 20 to 50% in 0.05 micrometers by the magnetic head made as an experiment in the gestalt of this operation. Moreover, the reason which will be limited if said 30 times are not exceeded is not based on flux guide height, but is for magnetic flux not to pass through under a flux guide mostly in 30 or more times so that clearly from drawing 7  $R > 7$ . Moreover, when the standardized flux guide height compares the thing of 30 with the thing of 40-100, the distance from the standardized sliding surface is comparable flux density distribution or less in 30. Since the flowing sense current shunts between Electrodes 8a and 8b also toward a flux guide with the head in connection with this invention and the magnetic-reluctance rate of change as the whole is reduced, from this viewpoint, the smaller one of the flux guide height 20 is desirable. For this reason, under a prototype head, the flux guide height 20 has optimal 3 micrometers.

[0049] gestalt 2. of operation -- drawing is used and explained below based on an example of the head which made the process of the head of this invention as an experiment. In these drawings, 15 is an insulator layer, and 3b is a GMR component and it is [ 13 is a substrate and / 14 is a bottom gap and / 61 is a resist (photoresist) and ] drawing 8, and 9, 10, 11, 12, 13 and 14 are the explanatory views showing the production process of the head in connection with the gestalt of this operation, and the same [ other signs ] as that of the sign shown by drawing 1 - drawing 7. In addition, the following drawings show the cross-section explanatory view seen from the sliding surface, and the cross-section explanatory view seen from the side face at coincidence to a plan, its bottom, and its right, respectively.

[0050] First, the alumina titanium-carbide substrate covered with the insulator layer as a substrate 13 The Co-Zr-Nb film used as the bottom magnetic shielding 11 which is the 1st magnetic shielding (it is hereafter called the Al Chick substrate) 1 micrometer, Form membranes by the sputtering method and it etches by using a photoengraving-process technique for a predetermined configuration (process (a-1)). The place which formed 0.1 micrometers of alumina insulator layers used as the bottom gap 14 after it (process (a-2)), and formed GMR component 3b by the sputtering method as a field sensing element is shown in drawing 8 . In order to form GMR component 3b, 0.5nm and a permalloy were carried out for Co as an antiferromagnetism layer, the laminating of the 4nm was carried out one by one as 50nm and 2nd ferromagnetic layer 33 as 1st ferromagnetic layer which consists Cu of 2.3nm and two-layer in a permalloy considering 3nm and Co as 1nm and a non-magnetic layer, and NiO was formed (process (a-3)). Moreover, a protective coat and the substrate film (not shown) were prepared in the upper and lower sides of GMR component 3b. The resist 61 was formed in order to form the field sensing element height 22 next, as shown in drawing 9 (process (a-4)). Next, as shown in drawing 10 , excessive GMR component 3b was etched and the field sensing element height 22 was formed. next, equivalent to the thickness of a field sensing element in the insulator layer 15 which consists of an alumina, as shown in drawing 11 -- about 52nm formed membranes and field sensing element height was regulated (process (a-5)).

[0051] As shown in drawing 12 below, the resist 61 was removed by the lift-off method, and after making a front face into clarification so that switched connection may be carried out to the 1st ferromagnetic layer which is the magnetic force sensor of GMR component 3b in a reverse spatter etc., 10nm of Co-Zr-Nb was formed as a flux guide 2 (process (a-6)). After having formed the resist 62 of the width of face equivalent to the width of recording track next as shown in drawing 13 , and forming the film of Cu 150nm in thickness to electrode 8a and 8b, the resist was removed by the lift-off method (process (a-7)). In order to flow out next as shown in drawing 14 , and to decide the back end of the flux guide corresponding to height 23, resist formation, etching, and resist removal were performed (process (a-8)). It was made for outflow height to be here set to 0.3 micrometers. After it performed formation (process (a-9)) of the upper gap 16 (not shown), formation (process (a-10)) of the upper magnetic shielding 12 (not shown) which is the 2nd magnetic-shielding film, formation of a recording head, formation of a protective coat, formation of the electrode drawer section, etc. (neither is illustrated), performed slider processing which determines the drawing-in height 21, and obtained the prototype head. Here, it drew and height 21 was set to 0.3 micrometers.

[0052] Moreover, in order to aim at improvement in the soft magnetic characteristics of the bottom magnetic-shielding film after a process (a-1), concerning annealing Annealing which impresses about 10,000 A/m of direct-current fields crosswise [ truck ], and is performed at 350 degrees, In order to carry out the easy axis of the 2nd ferromagnetic layer in the head height direction and to carry out the 1st ferromagnetic layer and the easy axis of a flux guide crosswise [ truck ] after a process (a-8) After having carried out the temperature up to 250 degrees C all over the annealing furnace, impressing direct-current field 80,000 A/m extent in the head height direction and holding for about 1 hour, annealing which makes it 170 degrees C, impresses direct-current field 10,000 A/m extent in the width-of-recording-track head height direction, and is held for about 1 hour was performed suitably. About the direction of magnetization, the easy direction of magnetization of the flux guide 2 and the 1st ferromagnetic layer 31 was the truck cross direction mostly, and moreover it set up mostly the easy direction of magnetization of the 2nd ferromagnetic layer 33 in the flux guide height direction, the easy direction of magnetization was mostly made into the truck cross direction also about magnetic shielding.

[0053] When average-of-roughness-height Ra of this head made as an experiment, and a coercive force 340 kA/m, residual magnetization 0.42T, 0.2 micrometers of medium thickness and a front face measured record reproducing characteristics using the flexible medium of metal spreading which is 8nm, the stable output wave without thermal asperity or a Barkhausen noise was acquired.

[0054] gestalt 3. of operation -- next, it draws with the upper gap 14 and the bottom gap 16, and the relation of height 21 is explained. Drawing 15 is the graph which showed the relation of the distance from the sliding surface from which the flux density inside a flux guide is set to 0.2T and 0.05T to the distance 14 between magnetic shielding and a flux guide, i.e., an upper gap, and the bottom gap 16. Among drawing, "single-sided magnetic shielding" shows the case where magnetic shielding is only in one of the upper and lower sides, and says the case where "both-sides magnetic shielding" has up-and-down magnetic shielding in the same distance to a flux guide. Moreover, the flux guide height 21 was set to 10 micrometers, and the thickness was set to 10nm. This drawing shows that the distance between magnetic shielding and a flux guide is proportional to the distance which magnetic flux reaches mostly. Moreover, it turns out that there are not a case where magnetic shielding is existed in the equal distance only as for one side at both sides, and a remarkable difference. moreover -- since the distance from a sliding surface of the ability of 20% or more of resistance rate of change to be used is to about 20 times of the distance between magnetic shielding and a flux guide

and it is to about 30 times that 5% or more of resistance rate of change can be used -- drawing-in height -- the distance between magnetic shielding and a flux guide -- it is necessary to take desirably for 20 or less times 30 or less times. In addition, as for this relation, the thickness of a flux guide hardly changes in the range from 5nm to 20nm. Moreover, these relation will be materialized if there is 100 or more-about permeability of a flux guide.

[0055] Moreover, drawing 16 is the cross-section explanatory view seen from the side face of the magnetic head in connection with the gestalt of this operation. The sign shown in drawing is as common as the sign shown in drawing 1. If both or one of the two of an upper gap and a bottom gap is narrowed on a sliding surface and made large inside a head, as shown in drawing 16, while dealing in high track recording density, since the distance which the magnetic flux in the flux guide 2 reaches is extended, a magnetic parametric performance top is desirable.

[0056] gestalt 4. of operation -- the outflow height 23 of a flux guide is explained below. Drawing 17 is the graph which the drawing-in height 21 is 0.3 micrometers, and showed the relation of the outflow height 23 and playback output at the time of measuring record reproducing characteristics using a flexible medium. The axis of abscissa shows the ratio of outflow height to field sensing element height (GMR height), and the axis of ordinate shows the ratio (relative playback output) of a playback output to a playback output in case there is no outflow height. According to the result shown in this drawing 17, it turns out that the playback output of the ratio of outflow height to field sensing element height improves rapidly as for 0.5, and it seldom changes more than by it. From this, outflow height is understood that a certain thing is [ of field sensing element height / 1/2 or more ] desirable. Conversely, if outflow height exceeds 10 times of field sensing element height, since the magnetic-reluctance rate of change when the current which carries out splitting to the part which constitutes the outflow height of a flux guide among sense currents becoming larger than the current which flows to a field sensing element, and seeing with the whole head will fall remarkably, it limits with the range to 10 times. In addition, although this drawing shows the case where the drawing-in height 21 is 0.3 micrometers, the value from which drawing-in height differed also shows the same dependency, and a different medium, different flux guide thickness, different flux guide permeability, and gap length that is different by the upper and lower sides also show the same dependency.

[0057] gestalt 5. of operation -- a flux guide and a magnetic force sensor are explained below. With the head of this invention, since magnetization of a flux guide and magnetization of the magnetic force sensor of a field sensing element are combined by switched connection, torque required for magnetization rotation of the flux guide directly under a magnetic force sensor of a field sensing element becomes larger than the torque which the magnetic force sensor of a field sensing element needs for magnetization rotation of the flux guide of the part which is not in directly under. That is, the sensibility of the magnetization rotation to a field falls. However, this sensibility fall itself is not a problem but a problem with more important the uniaxial anisotropy of a flux guide and the stability of magnetization rotation being rather, spoiled, since the magnetic properties of a magnetic force sensor affect the magnetic properties of a flux guide practically not much. It is better as magnetization and thickness of a magnetic force sensor are small to this trouble. However, if a magnetic force sensor becomes small, magnetic-reluctance rate of change will also become small.

[0058] Since the coercive force of 15 oersteds and the direction of a hard axis was acquired [ the anisotropy field ] for the uniaxial anisotropy film of 0.1 or less oersteds by annealing the Co-Zr-Nb film of saturation magnetization 1.1T which formed membranes by the spatter at 170 degrees C in a direct-current field, the drawing-in height 21 made the head 0.5 micrometers and whose outflow height 23 0.3 micrometers and the field sensing element height 22 are 0.3 micrometers as an experiment by adopting this as the flux guide 2. A result is shown in Table 1. However, the configuration of the field sensing element 3 is the same as that of gestalt 2. of operation except a magnetic force sensor. The value of  $M1$ , and  $(T1) / (Mf - Tf)$  acquired the good head property or less [ 0.2 or more ] by 0.7.

[0059]

[Table 1]

表 1

試料 番号	(飽和磁化) × (膜厚) (Tnm)		(M <sub>1</sub> ・T <sub>1</sub> ) /(M <sub>f</sub> ・T <sub>f</sub> )	相対出力 (%)	出力波形 安定性	特許請求 の範囲内
	感磁部	フラックスガイド				
1	6	13	0.46	100	○	○
2	8	13	0.62	93	○	○
3	10	13	0.77	81	×	
4	4	13	0.31	86	○	○
5	2	13	0.15	17	○	
6	15	20	0.75	54	×	○
7	6	20	0.30	76	○	○
8	4	20	0.20	58	○	○
9	6	7	0.86	102	×	
10	2	7	0.29	63	○	○

[0060] gestalt 6. of operation -- flux guide thickness is explained below. Drawing 18 is the graph which showed the relation of the thickness of a flux guide and the playback output of a head in 0.17 micrometers of record bit length. 0.3 micrometers and the field sensing element height 22 a head configuration However, 0.5 micrometers, [ the drawing-in height 21 ] As for 0.3 micrometers, the distance between shielding of 210nm, and the field sensing element 3, the outflow height 23 NiO as an antiferromagnetism layer 34 50nm, For a permalloy 3nm and Co as 2nd ferromagnetic layer 33 1nm, Carry out Co for Cu as a non-magnetic layer 32, carry out the laminating of 0.5nm and the 4nm of the permalloys one by one as 2.3nm and 1st ferromagnetic layer 31, and it forms. The sheet resistance is about 9ohms, and the flux guide consists of film of presentation Co<sub>91.6</sub>Zr<sub>2.5</sub>Nb<sub>5.9</sub> (at%). In addition, the resistance R of a thin film is the following formula  $R = (\text{resistivity}) \times (\text{die length}) / (\text{cross section})$ .

It is come out and expressed and a cross section is the following formula  $(\text{cross section}) = (\text{width of face}) \times (\text{thickness})$ . It comes out, and since it is expressed and is  $= (\text{width of face}) (\text{die length})$  supposing the configuration of a thin film is a square (die length and width of face are equal), R becomes  $R = (\text{resistivity}) / (\text{thickness})$  after all. The resistance expressed with this R is called so-called sheet resistance.

[0061] From the relation between the thickness of the flux guide shown in drawing 18, and the playback output of a head, if the thickness of a flux guide exceeds 20nm, a playback output will decline rapidly. This reason is because it is the effectiveness that the magnetic flux which flows to the bottom magnetic shielding 11 and the upper magnetic shielding 12 increases, before passing the field sensing element 3 in the effectiveness that the sense current which carries out splitting not only to the fall of the resolution of a longitudinal direction but to the flux guide 2 increases, and the magnetic flux included in the flux guide 2. Moreover, due to the ratio of the volume of the flux guide 2, and the volume of the 1st ferromagnetic layer 31, if the thickness of a flux guide is set to less than 5nm, since the effect of the magnetic properties of the 1st ferromagnetic layer 31 begins to appear in the magnetic properties of the flux guide 2, a playback output not only declines, but a playback output -- a bulk HAUZEN jump appears -- will become unstable. Therefore, the desirable range of the thickness T<sub>f</sub> of the flux guide 2 is  $0.5 \text{ nm} \leq T_f \leq 20 \text{ nm}$ .

[0062] Although the gestalt of this operation described the dimension of a specific head, and the specific quality of the material, drawing-in height, field sensing element height, outflow height, etc. should just be range which fulfills the conditions indicated to claims 3, 4, and 5. Although it is a cascade screen which is called NiO/nickel-Fe/Co/Cu/Co/nickel-Fe in the quality of the material of a field sensing element the case of the gestalt of this operation and by which the laminating was carried out to this order at six layers, various combination can be considered respectively. For example, there is a cascade screen of five layers called IrMn/Co-Fe/Cu/Co-Fe/Co-Zr-Nb. moreover, Co system, the quality of the material, for example, the permalloy, of a flux guide, -- being amorphous (all being soft magnetism film) -- it thinks.



[0063] gestalt 7. of operation -- the gestalt of other operations of the process of the magnetic head in connection with this invention is explained below. In the gestalt 2 of operation, 3nm and Co were already described [ NiO ] for the permalloy as 50nm and 2nd ferromagnetic layer 33 about what carried out 0.5nm and a permalloy for Co as 1nm and a non-magnetic layer 32, and carried out the laminating of the 4nm for Cu one by one as 2.3nm and 1st ferromagnetic layer 31. The magnetic-reluctance rate of change of this configuration is about 7%. Moreover, sheet resistance is about 9ohms. Combination with the flux guide by this GMR component 3b and Co-Zr-Nb also already described having acquired the good head property. However, when the antiferromagnetism layer 34 was constituted from NiO and the high process temperature exceeding 250 degrees was used at the time of head formation, it turned out that property degradation may arise according to causes, such as diffusion of oxygen. Then, the case where the thing of Mn system was used for the antiferromagnetism layer 34 was also examined.

[0064] Drawing is used and explained below based on an example of the head which made the gestalt of other operations of the process of the head of this invention as an experiment. Drawing 19 , and 20, 21, 22 and 23 are the explanatory views showing the production process of the magnetic head in connection with the gestalt 7 of operation. The sign shown in drawing 19 -23 is as common as the sign shown in drawing 1 -18. In addition, the following drawings show the cross-section explanatory view seen from the sliding surface, and the cross-section explanatory view seen from the side face at coincidence to a plan, its bottom, and its right, respectively.

[0065] Co-Zr-Nb used as the bottom magnetic shielding 11 which is the 1st magnetic-shielding film as a substrate 13 on the aluminum-Ti-C substrate covered with the insulator layer First, 1 micrometer, Form membranes by the sputtering method and it etches by using a photoengraving-process technique for a predetermined configuration (process (b-1)). 0.1 micrometers of alumina insulator layers used as the bottom gap 14 are formed after it (process (b-2)). 10nm is formed for Co-Zr-Nb as 1st flux guide 2c (process (b-3)). For a permalloy 4nm and Co as 1st ferromagnetic layer 31 in order to form GMR component 3b as a field sensing element 0.5nm, as a non-magnetic layer -- Cu -- as 2.3nm and the 2nd ferromagnetic layer -- Co -- 1nm and a permalloy -- as 3nm and an antiferromagnetism layer -- Ir-Mn -- 10nm -- one by one -- a laminating -- having carried out (process (b-4)) -- time is shown in drawing 19 . Moreover, a protective coat and the substrate film were also prepared in the upper and lower sides of GMR component 3b (not shown). As shown in drawing 20 , in order to form the field sensing element height 22 next, the resist 63 was formed and field sensing element height was regulated (process (b-5)).

[0066] Next, as shown in drawing 21 , etching of 1st excessive flux guide 2c and GMR component 3b was performed, and the field sensing element height 22 was formed. Next, as shown in drawing 22 , a resist 63 was not removed, but 2nd flux guide 2d was formed so that it might join together magnetically by 1st flux guide 2a and switched connection. At this time, from a viewpoint that the flux guides 2c and 2d are the almost same presentation and thickness does not build the pinning point in magnetization rotation in a flux guide, it is required and functions as film which continued in this case.

[0067] As shown in drawing 23 below, the resist 63 was removed by the lift-off method (process (b-6)). The following performs the process (process (b-7)) which forms the wiring film by the lift-off method, the process (process (b-8)) which regulates flux guide height, the process (process (b-9)) which forms the 2nd insulating layer, and the process (process (b-10)) which forms upper magnetic shielding which is the 2nd magnetic shielding like below drawing 13 of the gestalt 2 of operation, and produces a head.

[0068] Moreover, in order to aim at improvement in the soft magnetic characteristics of the bottom magnetic-shielding film after a process (b-1), concerning annealing Annealing which impresses direct-current field 10,000 A/m extent crosswise [ truck ], and is performed at 350 degrees C, In order to carry out the easy axis of the 2nd ferromagnetic layer in the head height direction and to carry out the 1st ferromagnetic layer and the easy axis of a flux guide crosswise [ truck ] after a process (b-8) After carrying out a temperature up to 250 degrees C all over an annealing furnace, impressing direct-current field 80,000 A/m extent in the head height direction and holding for about 1 hour, annealing which makes it 170 degrees C, impresses about 10,000 A/m of direct-current fields in the width-of-recording-track head height direction, and is held for about 1 hour is performed suitably.

[0069] When record reproducing characteristics were measured using the flexible medium of this head made as an experiment, coercive force 340 kA/m, residual magnetization 0.42T and 0.2 micrometers of medium thickness, and metal spreading of average surface roughness Ra8nm, the stable output wave without thermal asperity or a Barkhausen noise was acquired.

[0070] In gestalt 8. of operation, in addition the gestalt 7 of operation, although the flux guide has spread crosswise [ truck ], as shown in drawing 24 , it may make the width of face of a flux guide in agreement with the width of recording track 9 in general, and may raise a cross talk property. Drawing 24 is the cross-section explanatory view seen from the lower part of the magnetic head in connection with the gestalt 8 of this operation. The sign shown in drawing



24 is as common as other drawings of this specification. In this case, if it prepares in the location which retreated the electrodes 8a and 8b as well as the GMR component 3 from the sliding surface, since the number of the ingredients exposed to a sliding surface will become fewer, the dependability of a head increases from a wear-resistant viewpoint. Moreover, in drawing 24, although Electrodes 8a and 8b touch the flux guide, if only the field sensing element 3 is made to contact by making spacing of Electrodes 8a and 8b larger than the width of recording track 9, the invalid current which does not flow to the field sensing element 3 in a sense current can be reduced. In addition, if the structure which carried out the laminating of two-layer 52a of the soft magnetism layer which sandwiched the nonmagnetic interlayer 51 in the middle as shown in a flux guide at drawing 25, and the 52b is adopted, since the static magnetic field energy in a membrane end side will fall, magnetic-domain structure is stabilized. Drawing 25 is the cross-section explanatory view seen from the sliding surface of the magnetic head in connection with the gestalt 8 of this operation. In this case, two-layer overall thickness serves as thickness as a flux guide.

[0071] As shown in gestalt 9. of operation, and drawing 26, antiferromagnetism layers, such as Fe-Mn, nickel-Mn, Pb-Mn, and Cr-Mn, or Co-Cr-Pt, Co-Cr-Ta, etc. may form the hard magnetic layers 55a and 55b which the sense of magnetization becomes from the hard magnetism material which does not change easily by the external magnetic field in the bottom of Electrodes 8a and 8b as a flux guide stability layer 55, and stability of the magnetic domain of a flux guide may be aimed at. Moreover, you may be combination with the gestalt 8 of operation.

[0072] The record playback experiment was conducted to the flexible medium of metal spreading by which surface roughness differs using the magnetic head obtained with the gestalt 7 of gestalt 10. implementation of operation. Respectively, 5 times, both sides of a medium are evaluated using the average of the value measured in the measurement distance of 5mm with the contact process surface roughness meter, and surface roughness expresses them by measured value and Ra (center line average of roughness height) here. Drawing 27 shows relation with the wavelength  $\lambda$  50 from which surface roughness, and the sleeve trace depth and the playback output of a medium become half [ of a solitary wave ]. Experiment conditions made the load of relative-velocity 5 m/s of a head and a medium, and a head suspension 5gf extent. this drawing shows that average surface roughness Ra is set to  $\lambda$  50 or about 1  $\mu$ m in 10nm or less, and that the maximum sleeve trace depth is set to about 5nm. As for head wear, even use of tens of thousands of hours is settled in about 100nm as the maximum sleeve trace depth is about 10nm. High density record is realized and, as for average surface roughness Ra of a medium, it is good for securing dependability that it is 10nm or less. Moreover, this condition becomes longer lasting [ average surface roughness Ra of a medium ] in 10nm or less, if protective coats, such as diamond-like carbon, are formed in a head front face, but since exfoliation breaks out shortly after average surface roughness Ra of a medium is larger than 10nm, about [ being ineffective ] and a medium may be damaged. Moreover, when average surface roughness Ra of a medium was not 0.1nm or more conversely, it very becomes easy to generate adsorption of a head and a medium and failures, such as fluctuation of the rotational frequency of a medium or a halt, occur by a certain factor, a head and a medium may not separate but fatal damage -- a suspension deforms -- may occur. By the above, the desirable range of average surface roughness Ra of a medium is 0.1nm or more 10nm or less.

[0073] Moreover, even if it uses relative velocity and a value which is different about the load of a suspension, the almost same dependency is shown. However, if between [ quite large ] a head and media is taken to 100nm or more, as for head wear, at least 10nm or more of average surface roughness Ra will become small. However, since the spacing is large in this case, track recording density does not become large. Moreover, if it changes into a contact condition completely, in the same average surface roughness Ra of a medium, the maximum sleeve trace depth becomes two to 5 times, and the wear depth of a head also has it. [ same ]

[0074] Although the magnetic head shows only the part in connection with playback which is gestalt 11. of operation in the gestalt of the above operation, usually a recording head is prepared on the upper magnetic shielding 12. drawing 28 is the cross-section explanatory view seen from the side face of the magnetic head in connection with the gestalt of this operation, and drawing 29 and drawing 30 are concerned with the gestalt of this operation -- it is each the cross-section explanatory view seen from the side face of other magnetic heads to the pan. In drawing 28, drawing 29, and drawing 30, 74 is a nonmagnetic detached core which separates the reproducing head and a recording head, 71 is a bottom core of a recording head, 72 is an upper core, and other signs are [ 73 is the magnetic gap of a recording head and / 75 is the coil of a recording head and ] as common as drawing 1. A recording head may form the upper core 72 for recording heads, and the bottom core 71 through a non-magnetic layer 74 on the upper magnetic shielding 12, in order to avoid a magnetic interference of a recording head and the reproducing head as are shown in drawing 28, and the upper magnetic shielding 12 may be the merge mold head which serves as the bottom core of a recording head and it is shown in drawing 29. Moreover, as shown in drawing 30, a recording head is under the reproducing head and may form first on a process. In this case, the process of a recording head can be constructed, without taking into

consideration the thermal resistance of a field sensing element. although you may be what kind of the quality of the material and a configuration about a recording head -- a vertical core -- Co system -- since a polarized abrasion level difference hardly arose between the non-magnetic layers which become with a surrounding alumina etc. when it was amorphous and having been formed, there is no fall of the recording characteristic by the increment in an effective spacing, and the good result was obtained.

[0075] Although there are some which show only specific configurations, such as the specific quality of the material and a specific dimension, for example, the vertical relation between a flux guide and a GMR component etc., in the gestalt of gestalt 12. of operation, and the above operation a flux guide -- Co systems, such as Co-Zr-nickel-Mo, -- that what is necessary is to be amorphous and for the range also of thickness just to be 5-20nm, even if it is soft magnetic materials and thickness of a crystalline substance, such as other nickel-Fe-Rh It is not restricted other than the gestalt 5 of operation, and 6, respectively. Moreover, although Cu order is set to Co with the gestalt of the above operation since diffusion can make it hard for the work function to reduce that interface dispersion occurs in the work function of Cu on a non-magnetic layer 32 by the difference between near and a work function as GMR component 3b, and to occur, a Fe-Co system, Fe-nickel systems, Co-nickel systems, etc. may be other ferromagnetics. Moreover, the 2nd ferromagnetic layer 33 may be a Co monolayer, and may be a different ferromagnetic. Moreover, if Fe-Mn, nickel-Mn, Pb-Mn, Cr-Mn, etc. may be Mn system, alpha-iron oxide, etc. and magnetization of the 2nd ferromagnetic layer does not rotate them with a signal about an antiferromagnetism layer, it is not necessary to use an antiferromagnetism layer.

[0076] Moreover, if predetermined properties, such as magnetic shielding, and a substrate, an insulator layer, are acquired, there will be no limit in an ingredient. For example, since an elevated-temperature process can be used about the bottom magnetic shielding 11, in order to acquire magnetic properties, such as Sendust, Fe-Ta-N, Fe-Zr-N, and Fe-N, application is easy also about the thing which needs hot annealing. Moreover, various kinds of plating film may be used in magnetic shielding 11 or 12. Moreover, a silicon dioxide, silicon nitride, etc. may be used about an insulator layer. Moreover, when forming the magnetic head about a substrate, what has large Young's modulus may be desirable so that a substrate may not curve in the membrane stress of the formed magnetic film or an insulator layer, and as an example of the ingredient, you may be titanate-acid calcium, barium titanate, potassium titanate, forsterite, etc., and may be ingredients besides a single crystal substrate, such as single crystal silicon, also except a ceramic.

[0077] Furthermore, the thing of other values is sufficient as magnetic properties and medium thickness of the used medium, and magnetic layers may be other quality of the materials, such as ferrous oxide, cobalt-ferrous oxide, and a barium ferrite, besides metal spreading.

[0078] Moreover, in the gestalt of the above operation, although the field sensing element was a GMR component of spin bulb structure, you may be MR component by which a magnetic force sensor is constituted from a permalloy, for example. In the case of MR component, horizontal bias is required, but the impression approaches of horizontal bias may be any, such as SAL bias which arranges the soft magnetism film for example, in the contiguity section, shunt bias, and current bias which forms a bias line separately. Moreover, if a magnetic force sensor is a field sensing element magnetically combinable [ with a flux guide and switched connection ], since there will be two ferromagnetics for example through an ultra-thin insulator layer and the amount of tunnel current will change with whenever [ two angular relation / of the direction of each magnetization of a ferromagnetic ], you may be which field sensing elements, such as a TMR component which can make resistance rate of change 20% or more.

[0079] Thus, a magnetic recording medium is producible using the produced medium and the head in connection with the gestalten 1-11 of operation. As a magnetic recording medium, although configurations differ for every magnetic recording medium with a disk unit, a tape unit, etc. In the case of a disk unit, like the former other than the thing of this invention as a device system In order to perform positioning of a head, and immobilization using the clamp which fixes a spindle motor and its bearing, and a medium in order to rotate a medium An actuator, an arm, a suspension, etc. are used. As an electric system Modulate the control circuit of a device system, and a record signal, and generate a record current, and the signal from a head is amplified. the electromagnetism to which it restores -- it produces assembly and by mounting using the fan for carrying out air cooling of the inside of a case further using the I/O circuit for exchanging a conversion system circuit, for example, a computer, and a signal, the power circuit which supplies the electrical and electric equipment to them depending on a case and the case etc. In the case of a tape unit, it is the same as that of the configuration mentioned above almost, but device systems differ, and it consists of a tape-feed system, a head rotation system, etc., and has the rotary transformer etc. also as an electric system.

[0080] In the magnetic recording medium in connection with the gestalt of this operation Have magnetic shielding and the magnetic force sensor of a field sensing element to a flux guide continuously by the head configuration magnetically combined by switched connection to the location in the head height direction where a flux guide is more expensive than a field sensing element The drawing-in height of a flux guide still more desirably by the configuration

of 0.1 micrometers or more, a field sensing element, and the head of 30 or less times of the distance between magnetic shielding. The average surface roughness Ra can use suitably 0.1nm or more thing 10nm or less as a medium, and since abrasion resistance is good and it is reliable, the effectiveness of becoming long lasting is done so.

[0081]

[Effect of the Invention] Since this invention is constituted as explained above, effectiveness as taken below is done so.

[0082] In the magnetic head in connection with claim 1 of this invention It turns a laminating up and magnetization of said ferromagnetic layer is magnetically combined with it in magnetization of this magnetic-flux guidance film. (1) -- said ferromagnetic layer -- said some of magnetic-flux guidance film -- The magnetic flux corresponding to the signal field which flows into a flux guide since said magnetic-flux guidance film is continuing to a location higher than said field sensing element to the head height direction can be efficiently introduced into the interior of a head. (2) -- [ and ] And since the rotation of magnetization and the rotation of magnetization of the magnetic force sensor of a field sensing element according to the signal field of a flux guide are directly combinable, efficient at high sensitivity and the effectiveness that it can deal in the head excellent in abrasion resistance are done so.

[0083] Said field sensing element of the head in connection with claim 2 of this invention is a huge magnetic effect component. This huge magnetic effect component consists of the 1st ferromagnetic layer, a non-magnetic layer, and the 2nd ferromagnetic layer. Magnetization of the 1st ferromagnetic layer is magnetically combined with magnetization of this magnetic-flux guidance film. this -- the 1st ferromagnetic layer -- said some of magnetic-flux guidance film -- a laminating is turned up -- having -- this -- And since said magnetic-flux guidance film is continuing to a location higher than said huge magnetic effect component to the head height direction and a flux guide is directly combinable with the ferromagnetic layer equivalent to a magnetic force sensor, the effectiveness that it can deal in the head of high power is done so. Moreover, even when a field sensing element is used as a TMR component, since bigger resistivity than a GMR component is obtained while a field sensing element, the description same about a flux guide, and effectiveness are acquired, the head of high power is obtained further.

[0084] While the head the edge of a field sensing element and the distance of a head sliding surface excelled [ head ] in abrasion characteristics-proof by a certain thing 0.1 micrometers or more is obtained, the head in connection with claim 3 of this invention Since the magnetic flux corresponding to the signal field which flows into a flux guide when this distance does not exceed 30 times of distance with the part to which up-and-down magnetic shielding is most close can be efficiently introduced into the interior of a head, it is efficient and the effectiveness that it can deal in the head of high sensitivity is done so.

[0085] The distance of the end face of the opposite side of the magnetic-head sliding surface of a flux guide and the end face of a side far from the magnetic-head sliding surface of a field sensing element the head in connection with claim 4 of this invention To the part magnetically combined with the field sensing element of a flux guide by switched connection by being 1/2 or more times [ 10 or less ] of the field sensing element height which is the distance of the both ends of the head height direction of a field sensing element Since the magnetic flux corresponding to a signal field can be drawn efficiently, it is efficient and the effectiveness that it can deal in the head of high sensitivity is done so.

[0086] When M1, and (T1) / (Mf-Tf) carried out to 0.2 or more and 0.7 or less, control of the magnetic domain of a flux guide is easy for the head in connection with claim 5 of this invention, and its playback sensibility is high, and it does so the effectiveness that a noise can deal in a small head.

[0087] Since stabilization of soft magnetic characteristics can be performed, and the sheet resistance of a flux guide can be increased when the thickness of a flux guide is 20nm or less while decreasing the magnetic reluctance of a flux guide, when the thickness of a flux guide is 0.5nm or more, the head in connection with claim 6 of this invention decreases the sense current which carries out splitting to a flux guide, is efficient and does so the effectiveness that it can deal in the head of high sensitivity.

[0088] Moreover, it sets to the magnetic recording medium in connection with claim 7 of this invention. The magnetic-recording medium whose magnetic-recording medium is a flexible medium and whose average side granularity of said magnetic-recording medium the magnetic layer of said magnetic-recording medium possesses the binder holding a magnetic particle and it, and is 0.1nm or more 10nm or less, Upper magnetic shielding and bottom magnetic shielding are provided through a non-magnetic layer, respectively in the upper and lower sides of a flux guide with soft magnetic characteristics, and said flux guide. The edge of said flux guide, upper magnetic shielding, and bottom magnetic shielding accomplishes a part of sliding surface of the magnetic head. In the magnetic head led to the field sensing element in the location where said flux guide film left the magnetic flux corresponding to a record signal from the head sliding surface The laminating of the magnetic force sensor of a field sensing element is carried out to said some of flux guides, and it joins together magnetically by switched connection. Said flux guide and by using the head made to

continue to a location higher than a field sensing element to the head height direction which is in agreement with the direction of a normal of a head sliding surface Since the mechanical and thermal damage by contact to a head and a medium and sliding is prevented and the magnetic opening of a high sensitivity head and a medium is made small Since the flexible medium which obtained the magnetic recording medium which has a high recording density consistency, and applied the easy magnetic layer of manufacture is used, it can deal in a cheap magnetic recording medium.

[0089] In the magnetic recording medium in connection with claim 8 of this invention Said field sensing element is a huge magnetic effect component. This huge magnetic effect component The 1st ferromagnetic layer, Magnetization of the 1st ferromagnetic layer is magnetically combined with magnetization of this magnetic-flux guidance film. from a non-magnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer -- becoming -- this -- the 1st ferromagnetic layer -- said some of magnetic-flux guidance film -- a laminating is turned up -- having -- this -- And since said magnetic-flux guidance film is continuing to a location higher than said huge magnetic effect component to the head height direction Since the magnetic flux corresponding to the signal field which flows into a flux guide can be efficiently introduced into the interior of a head and the rotation of magnetization and the rotation of magnetization of the magnetic force sensor of a field sensing element according to the signal field of a flux guide can be combined directly, Since the magnetic flux corresponding to the signal field which can deal in an efficient head and flows into a flux guide can be efficiently introduced into the interior of a head, the effectiveness that it can deal in an efficient head in a cheap magnetic recording medium is done so.

[0090] In the magnetic recording medium in connection with claim 9 of this invention Since the distance of said sliding surface and the end face of the side near this sliding surface of said field sensing element is 0.1 micrometers or more and 30 times of the distance of said field sensing element and magnetic shielding which is most close to this field sensing element are not exceeded Since the magnetic flux corresponding to the signal field which flows into a flux guide can be efficiently introduced into the interior of a head, the effectiveness that it can deal in an efficient head in a cheap magnetic recording medium is done so.

[0091] In the magnetic recording medium in connection with claim 10 of this invention, with said sliding surface of said magnetic-flux guidance film, since the distance of the end face of the opposite side and the end face of a side far from said sliding surface of said field sensing element is  $1/2$  or more times [ 10 or less ] of the distance of the both ends of the head height direction of said field sensing element, it does so the effectiveness that it can deal in an efficient head in a cheap magnetic recording medium.

[0092] In the magnetic recording medium in connection with claim 11 of this invention Since it is  $0.2 \leq (M_1, T_1)/(M_f, T_f) \leq 0.7$  when the saturation magnetization of said magnetic-flux guidance film was set to  $M_f$ , thickness was set to  $T_f$ , the saturation magnetization of the magnetic force sensor of said field sensing element is set to  $M_1$  and thickness is set to  $T_1$  Control of the magnetic domain of a flux guide is easy, playback sensibility is high in a cheap magnetic recording medium, and the effectiveness that a noise can deal in a small head is done so.

[0093] In the magnetic recording medium in connection with claim 12 of this invention Since the thickness  $T_f$  of said magnetic-flux guidance film is  $0.5 \text{ nm} \leq T_f \leq 20 \text{ nm}$  Since stabilization of soft magnetic characteristics can be performed, and the sheet resistance of a flux guide can be increased when the thickness of a flux guide is 20nm or less while decreasing the magnetic reluctance of a flux guide The sense current which carries out splitting to a flux guide is decreased, and the effectiveness that it can deal in an efficient head in a cheap magnetic recording medium is done so.

[0094] In the magnetic recording medium in connection with claim 13 of this invention, since the average surface roughness of a magnetic-recording medium is 0.1nm or more 10nm or less, the effectiveness that it can deal in a cheap magnetic recording medium is done so.

[0095] Moreover, the process of the magnetic head in connection with claim 14 of this invention The 2nd insulator layer is formed with the process which regulates field sensing element height, and the resist left used for regulation of field sensing element height. By performing the process which forms a flux guide, the process which forms the wiring material film by the lift-off method, and the process which regulates flux guide height, after giving the process which carries out lift off after it The laminating of the magnetic force sensor of a field sensing element is carried out to said some of flux guides, and it joins together magnetically by switched connection. And said flux guide can manufacture easily the head which continued magnetically to the location higher than a field sensing element to the head height direction which is in agreement with the direction of a normal of a head sliding surface.

[0096] Moreover, the process of the magnetic head in connection with claim 15 of this invention The process which forms the 1st flux guide, and the process which carries out the laminating of the field sensing element are performed. The 2nd flux guide is formed with the process which regulates field sensing element height, and the resist left used for regulation of field sensing element height. By performing the process which carries out lift off after it, the process

which forms the wiring material film by the lift-off method, and the process which regulates magnetic-flux guidance film height The laminating of the magnetic force sensor of a field sensing element is carried out to said some of flux guides, and it is magnetically combined by switched connection. And said 1st and 2nd flux guides can manufacture easily the head which continued to the location higher than a field sensing element to the head height direction which is in agreement with the direction of a normal of a head sliding surface.

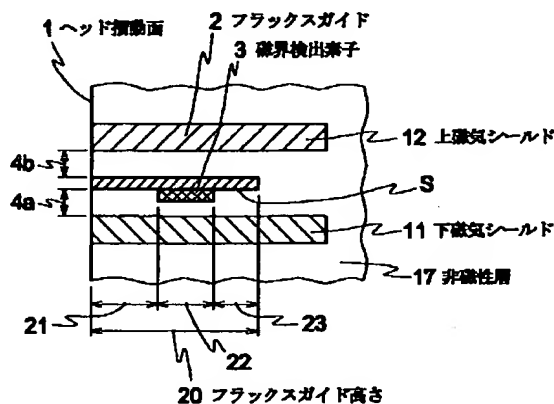
---

[Translation done.]

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成10年(1998)12月18日

**G 1 1 B 5/39**





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 軟磁気特性を有する磁束案内膜と、該磁束案内膜の上下に非磁性層を介してそれぞれ設けられる2つの磁気シールドと、該磁束案内膜の一方の主面に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とを具備し、該磁束案内膜および該2つの磁気シールドの端部が同一平面上となるように配設されて磁気ヘッドとしての摺動面の一部をなしており、前記磁界検出素子は該摺動面から離れた位置にある外部磁界により磁化の方向が変化する強磁性層を含んでおり、前記磁束案内膜が、該外部磁界によって規定される記録信号に対応した磁束を前記磁界検出素子に導く磁気ヘッドであって、(1)該磁界検出素子に含まれる前記強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁氣的に結合されており、かつ、(2)前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続している磁気ヘッド。

【請求項2】 前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁氣的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続している請求項1記載の磁気ヘッド。

【請求項3】 前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が $0.1\mu\text{m}$ 以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えない請求項1または2記載の磁気ヘッド。

【請求項4】 前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の $1/2$ 以上10倍以下である請求項1または2記載の磁気ヘッド。

【請求項5】 前記磁束案内膜の飽和磁化を $M_f$ 、膜厚を $T_f$ とし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化を $M_1$ 、膜厚を $T_1$ としたとき、 $0.2 \leq (M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f) \leq 0.7$ である請求項1または2記載の磁気ヘッド。

【請求項6】 前記磁束案内膜の膜厚 $T_f$ が $0.5\text{nm} \leq T_f \leq 20\text{nm}$ である請求項1または2記載の磁気ヘッド。

【請求項7】 磁気ヘッドと磁気記録媒体とを有しており、該磁気ヘッドが、軟磁気特性を有する磁束案内膜と、該磁束案内膜の上下に非磁性層を介してそれぞれ設けられる2つの磁気シールドと、該磁束案内膜の一方の主面に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とを具備し、該磁束案内膜および該2つの磁気シールドの端

部が同一平面上となるように配設されて磁気ヘッドとしての摺動面の一部をなしており、前記磁界検出素子は該摺動面より離れた位置にある外部磁界により磁化の方向が変化する強磁性層を含んでおり、前記磁束案内膜が、該外部磁界によって規定される記録信号に対応した磁束を前記磁界検出素子に導き、前記磁気記録媒体がフレキシブル媒体であり、該磁気記録媒体に含まれる磁性粒子と該磁性粒子を保持するバインダを含んでなる磁気記録装置であって、(1)前記磁界検出素子に含まれる前記強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁氣的に結合されており、かつ、(2)前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続している磁気記録装置。

【請求項8】 前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁氣的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続している請求項7記載の磁気記録装置。

【請求項9】 前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が $0.1\mu\text{m}$ 以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えない請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項10】 前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の $1/2$ 以上10倍以下である請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項11】 前記磁束案内膜の飽和磁化を $M_f$ 、膜厚を $T_f$ とし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化を $M_1$ 、膜厚を $T_1$ としたとき、 $0.2 \leq (M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f) \leq 0.7$ である請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項12】 前記磁束案内膜の膜厚 $T_f$ が $0.5\text{nm} \leq T_f \leq 20\text{nm}$ である請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項13】 前記磁気記録媒体の平均表面粗さが $0.1\text{nm}$ 以上 $10\text{nm}$ 以下である請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項14】 (a-1)第1の磁気シールド膜を形成する工程、(a-2)第1の絶縁層を形成する工程、(a-3)磁界検出素子を順次積層する工程、(a-4)磁界検出素子高さを規制する工程、(a-5)磁界検出素子高さを規制に用いたレジストを残したまま第2の絶縁膜を形成し、そのちにリフトオフする工程、(a-6)磁束案内膜を形成する工程、(a-7)配線材料膜をリフトオフ法で形成する工

程、(a-8)磁束案内膜高さを規制する工程、(a-9)第3の絶縁層を形成する工程、および、(a-10)第2の磁気シールド膜を形成する工程、を含む磁気ヘッドの製法。

【請求項15】 (b-1)第1の磁気シールド膜を形成する工程、(b-2)第1の絶縁層を形成する工程、(b-3)第1の磁束案内膜を形成する工程、(b-4)磁界検出素子を順次積層する工程、(b-5)磁界検出素子高さを規制する工程、(b-6)磁界検出素子高さを規制に用いたレジストを残したまま第2磁束案内膜を形成し、そののちにリフトオフする工程、(b-7)配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、(b-8)磁束案内膜高さを規制する工程、(b-9)第2の絶縁層を形成する工程、および、(b-10)第2の磁気シールド膜を形成する工程、を含むことを特徴とする磁気ヘッドの製法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁気ヘッドおよびその製法ならびに該磁気ヘッドを用いた磁気記録装置に関する。さらに詳しくは、高い線記録密度を有し、磁気ヘッドの磨耗が生じうる近接記録または接触記録を行う磁気ヘッドおよびその製法ならびに該磁気ヘッドを用いた磁気記録装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、ハードディスク装置を中心に記録密度の著しい向上がみられ、その一因としてパーマロイなどの磁気抵抗効果素子を用いた、いわゆるシールド型MR (magnetoresistive) ヘッドの採用があげられる。また、たとえば日経エレクトロニクス、No. 971 (平成8年9月23日) 84～93頁に記載されているように、一般にスピンバルブと言われる巨大磁気抵抗効果の一方式を用いたいわゆるGMR (giant-magnetoresistive) ヘッドの採用が始まろうとしている。

【0003】しかしながら、この巨大磁気抵抗効果素子の端面が磁気記録媒体近接面に露出している構造の一般的なGMRヘッドは、磁気ヘッドの磨耗を前提としない浮上方式の記録装置に用いられているものである。一方、磁気ヘッド（以下、単に「ヘッド」ともいう）が、磁気記録媒体（以下、単に「媒体」ともいう）との接触が無視できない構造とされている方式の記録装置においては、ヘッドと媒体との接触摺動が起こる。あるいは浮上方式であっても浮上距離が媒体の表面粗さと同程度であるならば、ヘッドと媒体との接触が一定の頻度で想定されることとなる。このようにヘッドと媒体との接触が生じうる構造の記録装置では、磨耗によるGMR素子の損傷などが起こるので、現在はGMR素子は用いられていない。このような記録装置においては、磁界検出素子、たとえばMR素子またはGMR素子をヘッドの内部に配置する必要がある。この方法としては、たとえば特開平8-255312号公報に開示されるような磁束案内膜すなわちフラックスガイドを用いるのが一般的であ

る。図31に従来のフラックスガイド型MRヘッドをその側面からみた断面説明図を、図32に上面から見た断面説明図をそれぞれ示す。図31および図32において、1はヘッド摺動面（以下、単に「摺動面」ともいう）であり、2aおよび2bはフラックスガイドであり、3aはMR素子であり、5aおよび5bはフラックスガイドとMR素子との磁気ギャップであり、7は磁気記録媒体（媒体）であり、8aおよび8bは電極であり、9はトラック幅であり、11は下磁気シールドであり、12は上磁気シールドであり、Isはセンス電流である。本明細書の以下の説明において、ヘッドからみて摺動面側を前といい、摺動面と反対側を後ろという。

【0004】このヘッドの構成は、下磁気シールド11と上磁気シールド12とのあいだにMR素子3aが配置されているとともに、MR素子3aの前後にそれぞれMR素子3aとは電気的に絶縁されてフラックスガイド2aおよび2bがある。磁気記録媒体7と対面する磁気ヘッドの先端面、すなわち、摺動面上に前方のフラックスガイド（以下、前フラックスガイドという）2aの先端部が露出しているとともにその後端部が磁気ギャップ5aを介してMR素子3aの前端部と重なり合っている。また、同様にMR素子3aの後端部は磁気ギャップ5bを介して後方のフラックスガイド（以下、後ろフラックスガイドという）2bの先端部と重なり合っている。また9はトラック幅に相当する。

【0005】以下に、このヘッドの動作について説明する。磁気記録媒体から発生する信号磁界は、前フラックスガイド2a、MR素子3a、後ろフラックスガイド2bの順に通過し、下磁気シールド11および上磁気シールド12あるいは、磁気ヘッド後端の空間（図31に向かって右方）に流れていく。MR素子3a中を通過する信号磁束によりMR素子3aの電気抵抗が変化するので、MR素子3aのトラック幅方向の両端に設けられる電極8aおよび8bよりMR素子3aにセンス電流Isを流すことにより電極8aと電極8bとのあいだの電圧変化として信号磁界を再生することができる。MR素子は前方および後方のフラックスガイド2aおよび2bとは絶縁されているので、センス電流IsはMR素子のみには流れる。この基本的な動作はMR素子がスピンバルブなどのGMR素子であっても同様である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】前記フラックスガイド型MR素子を用いたヘッド（以下、フラックスガイド型MRヘッドという）の問題の一つは、通常のシールド型MR素子を用いたヘッド（以下、シールド型MRヘッドという）よりも媒体から発生する信号磁界をセンス電流の電圧変化として変換する効率がかなり劣ることである。その理由を説明する。

【0007】シールド型MRヘッドにおいては、信号磁界はMR素子を通過し、下磁気シールド11および上磁

気シールド12あるいは、磁気ヘッド後端の空間に流れていく。すなわち、シールド型MRヘッドのMR素子には、媒体から発生する信号磁界が直接入る。

【0008】一方、フラックスガイド型MRヘッドにおいては、MR素子に、前フラックスガイド2aの磁気抵抗、前フラックスガイド2aとMR素子3とのあいだの磁気ギャップ5aの磁気抵抗をそれぞれ通過したのちの磁束が入るため、MR素子に入る前に大半の信号磁束は上下の磁気シールドに吸収されてしまう。このように、フラックスガイド型MRヘッドは、信号磁束が磁気シールドに吸収されるので、信号磁界を変換する効率が低い。また、フラックスガイド型MRヘッドでは前フラックスガイド2aとMR素子3aとのあいだの磁気ギャップ5aの磁気抵抗が著しく大きい。信号磁界を変換する効率が低く、磁気ギャップの磁気抵抗が大きいという問題点はフラックスガイド型MRヘッドの構造に起因している。

【0009】また、GMR素子をヘッドの内部に配置する手段として、たとえば特開平8-287416号公報に、フラックスガイドを用いずにGMR素子膜と、GMR素子膜よりも摺動面側に配置されたMR素子膜の感磁部を共通とすることにより、フラックスガイドによる出力低下を防ぐ構造が記載されている。

【0010】さらに、特開平8-287416号公報には、高出力がえられるのは、MR高さがヘッドの浮上量よりも小さい範囲であり、たとえば浮上量が20nmのばあいにはMR素子膜の幅が10~20nmの範囲で高出力がえられることが記載されている。しかしながら、浮上量が20nmあるいは、接触記録方式においてMR素子膜の幅が20nm程度であるならば、ヘッドと媒体との接触によるヘッド摺動面における磨耗傷の深さが20nmを超えることが充分ありうるので、GMR素子の摺動面側の層構造を乱す可能性がある。また、ヘッドの磨耗に対しても、最大20nm程度しか裕度がない。とくに磁気記録媒体として、磁性層を塗布したフレキシブル媒体を用いることができ、フレキシブル媒体は安価な可換媒体であるが、ヘッドの磨耗はさらに大きくなり、摺動面側の層構造を乱す可能性があるという問題はより顕著になる。

【0011】また、たとえば特開平7-230610号公報には従来のフラックスガイド型MRヘッドの一例が開示されている。図33は従来のフラックスガイド型MRヘッドの上面からみた断面説明図である。図33において、14は下ギャップであり、その他の符号は図31および図32と共通である。図33に示すように、前フラックスガイド2a、MR素子3a、後ろフラックスガイド2bが接して配置され、前フラックスガイド2aの膜厚、および前フラックスガイドの比抵抗とMR素子3aの比抵抗の比を所定の範囲に設定するヘッドが記載されている。しかしながら、前フラックスガイド2aの膜

厚は0.02 $\mu$ m、望ましくは0.05 $\mu$ m以上でない、高い再生出力をうることができないため、高い線記録密度に対応できないという問題点がある。

【0012】また、この構造では前フラックスガイドとMR素子3aの界面で磁化回転に対するピン止めが発生しやすい。このピン止めにより、磁化の回転が不連続となり再生信号が歪むバルクハウゼンノイズが発生しやすいという問題点がある。

【0013】本発明は前述のような問題を解決するためになされたものであり、本発明の目的は磁界検出素子をヘッドの内部に配置し、高感度でかつ耐磨耗性にすぐれたヘッドを提供することにある。

【0014】また、本発明の他の目的は磁界検出素子をヘッドの内部に配置し、高感度でかつ耐磨耗性にすぐれたヘッドを安価に製造する方法を提供することにある。

【0015】また、本発明のさらに他の目的は磁界検出素子をヘッドの内部に配置し、高感度でかつ耐磨耗性にすぐれたヘッドと磁性層を塗布したフレキシブル媒体とを用いた記録装置を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1にかかわる磁気ヘッドは軟磁気特性を有する磁束案内膜（フラックスガイド）と、該磁束案内膜の上下に非磁性層を介してそれぞれ設けられる2つの磁気シールドと、該磁束案内膜の一方の主面に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とを具備し、該磁束案内膜および該2つの磁気シールドの端部が同一平面上となるように配設されて磁気ヘッドとしての摺動面の一部をなしており、前記磁界検出素子は該摺動面から離れた位置にある外部磁界により磁化の方向が変化する強磁性層を含んでおり、前記磁束案内膜が、外部磁界によって規定される記録信号に対応した磁束を前記磁界検出素子に導く磁気ヘッドであって、(1)該磁界検出素子に含まれる前記強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁氣的に結合されており、かつ、(2)前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続している磁気ヘッドである。

【0017】本発明の請求項2にかかわるヘッドにおいては、前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁氣的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続していることが、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入でき、かつフラックスガイドの、信号磁界に応じた磁化の回転と磁界検出素子の感磁部の磁化の回転を直接的に結合できるため、高効率のヘッド

をうることができるので好ましい。

【0018】本発明の請求項3にかかわるヘッドにおいては、前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が $0.1\mu\text{m}$ 以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えないことが、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、高効率のヘッドをうることができるので好ましい。

【0019】本発明の請求項4にかかわるヘッドにおいては、前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の $1/2$ 以上10倍以下であることが、フラックスガイドの磁界検出素子に交換結合により磁気的に結合している部分まで、効率よく信号磁界に対応した磁束を導くことができるため、高効率のヘッドをうることができるので好ましい。

【0020】本発明の請求項5にかかわるヘッドにおいては、前記磁束案内膜の飽和磁化を $M_f$ 、膜厚を $T_f$ とし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化を $M_1$ 、膜厚を $T_1$ としたとき、 $0.2 \leq (M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f) \leq 0.7$ であることが、フラックスガイドの磁区の制御が容易であり、再生感度が高く、ノイズが小さいヘッドをうることができるので好ましい。

【0021】本発明の請求項6にかかわるヘッドにおいては、前記磁束案内膜の膜厚 $T_f$ が $0.5\text{nm} \leq T_f \leq 20\text{nm}$ であることが、高効率なヘッドをうることができるので好ましい。

【0022】本発明の請求項7にかかわる磁気記録装置は磁気ヘッドと磁気記録媒体とを有し、該磁気ヘッドが、軟磁気特性を有する磁束案内膜と、該磁束案内膜の上下に非磁性層を介してそれぞれ設けられる2つの磁気シールドと、該磁束案内膜の一方の主面に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とを具備し、該磁束案内膜および該2つの磁気シールドの端部が同一平面上となるように配設されて磁気ヘッドとしての摺動面の一部をなしており、前記磁界検出素子は該摺動面より離れた位置にある外部磁界により磁化の方向が変化する強磁性層を含んでおり、前記磁束案内膜が、該外部磁界によって規定される記録信号に対応した磁束を前記磁界検出素子に導き、前記磁気記録媒体がフレキシブル媒体であり、該磁気記録媒体に含まれる磁性粒子と該磁性粒子を保持するバインダを含んでなる磁気記録装置であって、

(1) 前記磁界検出素子に含まれる前記強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、(2) 前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続している磁気記録装置である。

【0023】本発明の請求項8にかかわる磁気記録装置においては、前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続していることが、磁束案内膜に流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入でき、かつ磁束案内膜の、信号磁界に応じた磁化の回転と磁界検出素子の感磁部の磁化の回転を直接的に結合できるため、高効率のヘッドをうることができるので好ましい。

【0024】本発明の請求項9にかかわる磁気記録装置においては、前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が $0.1\mu\text{m}$ 以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えないことが、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、高効率のヘッドをうることができるので好ましい。

【0025】本発明の請求項10にかかわる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の $1/2$ 以上10倍以下であることが、フラックスガイドの磁界検出素子に交換結合により磁気的に結合している部分まで、効率よく信号磁界に対応した磁束を導くことができるため、高効率のヘッドをうることができるので好ましい。

【0026】本発明の請求項11にかかわる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の飽和磁化を $M_f$ 、膜厚を $T_f$ とし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化を $M_1$ 、膜厚を $T_1$ としたとき、 $0.2 \leq (M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f) \leq 0.7$ であることが、フラックスガイドの磁区の制御が容易であり、再生感度が高く、ノイズが小さいヘッドをうることができるので好ましい。

【0027】本発明の請求項12にかかわる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の膜厚 $T_f$ が $0.5\text{nm} \leq T_f \leq 20\text{nm}$ であることが、高効率なヘッドをうることができるので好ましい。

【0028】本発明の請求項13にかかわる磁気記録装置においては、前記磁気記録媒体の平均表面粗さが $0.1\text{nm}$ 以上 $10\text{nm}$ 以下であることが、安価な磁気記録装置をうることができるので好ましい。

【0029】本発明の請求項14にかかわる磁気ヘッドの製法は、(a-1)第1の磁気シールドを形成する工程、(a-2)第1の絶縁層を形成する工程、(a-3)磁界検出素子を順次積層する工程、(a-4)磁界検出素子高さを規制する工程、(a-5)磁界検出素子高さを規制に用いたレジス

トを残したまま第2の絶縁膜を形成し、そののちにリフトオフする工程、(a-6)磁束案内膜を形成する工程、(a-7)配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、(a-8)磁束案内膜高さを規制する工程、(a-9)第3の絶縁層を形成する工程、および、(a-10)第2の磁気シールドを形成する工程、を含んでいる。

【0030】また、本発明の請求項15にかかわる磁気ヘッドの製法は、(b-1)第1の磁気シールドを形成する工程、(b-2)第1の絶縁層を形成する工程、(b-3)第1の磁束案内膜を形成する工程、(b-4)磁界検出素子を順次積層する工程、(b-5)磁界検出素子高さを規制する工程、(b-6)磁界検出素子高さを規制に用いたレジストを残したまま第2磁束案内膜を形成し、そののちにリフトオフする工程、(b-7)配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、(b-8)磁束案内膜高さを規制する工程、(b-9)第2の絶縁層を形成する工程、および、(b-10)第2の磁気シールドを形成する工程、を含んでいる。

【0031】MRやGMRなどを用いる磁界検出素子は感磁部の磁化の向きの変化、すなわち磁化回転角の変化により信号が変化するものである。従来のフラックスガイド型のヘッドは信号磁界に対応する磁束をフラックスガイド内部に導入し、それにより磁界検出素子に磁界を印加し、その結果として感磁部の磁化の向きを変化させている。このため、信号磁界と磁界検出素子とのあいだには、磁束に変換し、磁界に変換し、さらに磁化回転角に変換するという3段階の変換があり、磁化の変化を検出するためには非効率である。

【0032】本発明によれば、交換結合によりフラックスガイド内部での磁化回転（以下、単に「フラックスガイドの磁化回転」という）を直接的に磁界検出素子の感磁部内部での磁化回転（以下、単に「感磁部の磁化回転」という）とするため、信号磁界と磁界検出素子とのあいだの変換効率が極めてよく、またフラックスガイドは磁界検出素子よりもさらにヘッド内部まで連続している

ので、フラックスガイドの摺動面と反対側の端部に現れ\*  
によってえられる比Rの値を、0.2以上かつ0.7以下としたことにより、磁界検出素子の感磁部の機能を失わない範囲で磁界検出素子の感磁部の磁気特性がフラックスガイドの磁化回転動作に与える影響を少なくすることができる。

【0037】さらに、フラックスガイドの膜厚が5nm以上であることにより、媒体から発生した信号磁界に対応してフラックスガイド中に引き込まれる磁束を大きくするとともに、フラックスガイド中で磁界検出素子の感磁部において交換結合により磁気的に結合された部分の磁気特性が感磁部の磁気特性の影響を受けにくくすることができる。また、フラックスガイドの膜厚が20nm以下であることにより、長手方向の感度を向上させ、磁気シールドとの絶縁を容易にすることができる。

\*る磁極による反磁界の影響が少なく、媒体から発生した信号磁界に対応する磁束をフラックスガイド中に高効率でヘッド内部まで導くことができる。さらに、フラックスガイドが連続しているため、バルクハウゼンノイズ発生の起因となる、磁化回転をピン留めする部分が発生しにくい。

【0033】以上のため、ヘッドと媒体とが接触するときに発生する摩擦熱により生じる信号の乱れを一般にサーマルアスペリティーというが、このサーマルアスペリティーやヘッド磨耗などに対して裕度をもたせるように磁界検出素子をヘッドの内部に配置したが、従来のヘッドに比べてなお高い再生感度と安定性を有しうる。

【0034】さらに、磁界検出素子の端部とヘッド摺動面との距離が0.1μm以上あることにより、ヘッドの耐磨耗特性を向上させることができる。また、前記距離が、上下いずれかの磁気シールドのうち、もっとも近接している部分の距離の30倍以下であることにより、媒体から発生した信号磁界に対応し、フラックスガイドに引き込まれた磁束が磁界検出素子の端部に到達するまでに磁気シールドに吸収されることにより減衰するのを小さくすることができる。

【0035】さらに、フラックスガイドの磁気ヘッド摺動面の反対側の端面と、磁界検出素子の磁気ヘッド摺動面から遠い側の端面との距離が、磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離である磁界検出素子高さの1/2以上あることにより、磁界検出素子の磁気ヘッド摺動面から遠い側の端面の位置においてもフラックスガイドを通過する磁束の減衰を小さくすることができる。

【0036】さらに、磁束案内膜の飽和磁化をMf、膜厚をTfとし、磁界検出素子の感磁部の飽和磁化をM1、膜厚をT1とあらわし、磁束案内膜または磁界検出素子の感磁部が多層膜で構成されていたばあい、Mf・TfおよびM1・T1は各層の飽和磁化と膜厚との積を加算した数値であらわすものとしたとき、式(1)：

$$R = (M1 \cdot T1) / (Mf \cdot Tf) \quad (1)$$

※【0038】また、反強磁性層、第2の強磁性層、非磁性層、第1の強磁性層膜が順次積層されている磁界検出素子において、2つの工程すなわち、(a-4)磁界検出素子高さを規制する工程と、(a-5)磁界検出素子高さの規制に用いたレジストを残したまま第2の絶縁膜を形成し、そののちにリフトオフする工程と、をもちいることにより、フラックスガイドがGMR素子に含まれる反強磁性層、第2の強磁性層などに接触するので磁気特性が乱れることを防止することができる。また、フラックスガイドの成膜面を平坦にすることによりフラックスガイドの磁気特性の安定性をうることができる。

【0039】また、第1の強磁性層、非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性層が順次積層されている磁界検出素子において、2つの工程すなわち、(b-3)第1のフラッ

## 11

クスガイド膜を形成する工程と、(b-4)第1の強磁性層、非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性層を順次積層する工程とを行い、さらに、(b-5)磁界検出素子高さを規制する工程と、(b-6)磁界検出素子高さの規制に用いたレジストを残したまま第2フラックスガイドを形成し、そののちにリフトオフする工程とを用いることにより、磁界検出素子高さを規制する工程をリフトオフ法を用いずに製造することができるので、磁界検出素子の特性の安定化がえられる。

【0040】また、安価ではあるが表面粗さがスパッタハードディスク媒体に比較して劣るフレキシブル媒体に対しても、本発明にかかわるヘッドは一定量の磨耗を許容できるので、信頼性の高いヘッドメディアインターフェイスをうる。また、同様にサーマルアスペリティーに対しても、磁界検出素子を摺動面から充分に離すことができるので、ヘッドの磨耗の問題を回避できる。さらに、フレキシブル媒体の平均表面粗さ $R_a$ を10nm以下にすることによって、前述した問題の許容度を増すことができるとともに、接触記録方式や低浮上記録方式のばあいの実効的な空隙損失を媒体の表面粗さとはほぼ無関係にすることができる。

## 【0041】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しつつ、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0042】実施の形態1. 図1および図2はそれぞれ本発明の一実施の形態にかかわる磁気ヘッド（ヘッド）の主要部を側面から見た断面説明図および下部から見た断面説明図である。図1において1はヘッド摺動面（摺動面）であり、2は磁束案内膜であるフラックスガイドであり、たとえば組成 $\text{Co}_{91.6}\text{Zr}_{2.5}\text{Nb}_{5.9}$ （at %）の膜がスパッタ法で成膜され、厚さ約10nmのトラック幅方向に一軸異方性を有しており、つぎに述べる磁界検出素子3よりもヘッド高さ方向（摺動面の法線方向、以下、単にヘッド高さ方向という）に対して高い位置まで連続するよう形成されている。また、3は磁界検出素子であり、11は下磁気シールドであり、12は上磁気シールドであり、4aは磁気シールド11の上面とフラックスガイド2の下面との距離に相当する下ギャップ長であり、4bは上磁気シールド11の下面とフラックスガイド2の上面との距離に相当する上ギャップ長である。17は非磁性層であり、20はフラックスガイドの全長であるフラックスガイド高さであり、21は摺動面1と、磁界検出素子3の摺動面1に近い側の端面との距離に相当する引き込み高さであり、22は磁界検出素子3の幅に相当する磁界検出素子高さであり、23は磁界検出素子3の摺動面1から遠い側の端面とフラックスガイド2の摺動面1と反対側の端面との距離に相当する流出高さである。図1に示されたヘッドの主要部のうち、フラックスガイド、磁界検出素子ならびに上磁気シールドおよび下磁気シールド以外の部分は非磁性層17

## 12

である。また、図2において、8aおよび8bは電極であり、9は再生トラック幅に相当する。図1および図2に示されたように、本発明にかかわるヘッドは、フラックスガイドと、フラックスガイドの上下に非磁性層17を介してそれぞれ設けられる上磁気シールドおよび下磁気シールドと、フラックスガイドの一方の主面（図1において符号Sで示される）に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とが、非磁性層17に埋め込まれるようにして、かつフラックスガイドの端部ならびに上磁気シールドおよび下磁気シールドの端部が同一平面上となるように配設されてこの平面がヘッドとしての摺動面の一部をなすようにされている。フラックスガイド2は、媒体による記録信号に対応した磁束を磁界検出素子に導くものであり、軟磁気特性を有する材料によって形成され、材料の例として $\text{Co-Zr-Nb}$ をあげることができる。上下の磁気シールドは軟磁気特性を有する材料が用いられ、例として $\text{Co-Zr-Nb}$ などをあげることができる。また、これらの構成要素は、たとえば $\text{Al}_2\text{O}_3$ などからなる非磁性層17中に埋め込むようにして配設されている。

【0043】磁界検出素子の一例として図3にスピナバル構造のGMR素子の断面拡大説明図を示す。図3において、31は31aおよび31bの2層からなる第1の強磁性層であり、第1の強磁性層は磁界検出素子の感磁部に相当しており、たとえば31aは厚さ4nmのパーマロイ膜、31bは厚さ1nmのCo膜が、フラックスガイド2の所定の一部分上すなわち図1の符号Sで表される主面上でかつ、たとえば引き込み高さ21が0.3 $\mu\text{m}$ 、磁界検出素子高さ22が0.5 $\mu\text{m}$ 、流出高さ23が0.3 $\mu\text{m}$ になる位置に積層されている。32は第1の強磁性層と第2の強磁性層との交換結合を切り離すための非磁性層よりなるスペーサであり、たとえば厚さ2.3nmのCu膜である。33は33aおよび33bの2層からなる第2の強磁性層であり、たとえば33aは厚さ4nmのパーマロイ膜であり、33bは厚さ1nmのCo膜である。また、34はたとえば厚さ50nmのNiOよりなる反強磁性層である。

【0044】磁界検出素子としては、GMR素子のほかにはMR素子やトンネルMR素子（以下、TMR素子という）を用いることができる。TMR素子は、第1の強磁性層と第2の強磁性層の相対的な磁化の向きの差により、第1の強磁性層と第2の強磁性層とのあいだに流れるトンネル電流が変化する効果を利用するものである。MR素子を用いるばあいには、磁界検出素子としては第1の強磁性層すなわち磁界検出素子の感磁部のみでよい。また、磁界検出素子の感磁部の磁化の向きを、磁化容易軸方向であるトラック幅方向からヘッド高さ方向に45度程度傾けるためのバイアス磁界（以下、横バイアス磁界という）を必要とする。その磁界印加方法としてはたとえば、磁界検出素子の上に絶縁層を介して電流線



を配置し、その電流線に流れる電流により発生する磁界を用いることができる。TMR素子を用いるばあいには、スペーサはアルミニウムの自然酸化膜のような、ピンホールや歪みのない極薄の絶縁膜である。また電極8a、8bをそれぞれ第1の強磁性層と第2の強磁性層あるいはその逆に接続する。いずれのばあいも、感磁部である強磁性層はフラックスガイドの所定の一部分上に積層されて強磁性層の磁化がフラックスガイドの磁化と磁氣的に結合されており、かつ、フラックスガイドはヘッド高さ方向に対して磁界検出素子高さよりも高い位置まで連続している構成は同じである。前記強磁性層は磁界検出素子の感磁部とされるため、Ni<sub>79</sub>-Fe<sub>21</sub>などの軟磁気特性を有する材料が用いられる。また磁界検出素子がGMRのばあい、スペーサは第1の強磁性層と第2の強磁性層の交換結合を切り離すために非磁性であり、第1の強磁性層および第2の強磁性層との界面で電子の散乱の小さい材料が適しており、例として銅をあげることができる。第2の強磁性層は反強磁性層によって磁化の向きが固定されるものであり、例として第1の強磁性層と同じくNi-Feがあげられる。さらに、反強磁性層は、交換結合磁界が大きく、交換結合磁界がなくなる温度であるブロッキング温度が高く、実用的な耐食性を有する材料が用いられ、例としてIr-Mnなどをあげることができる。

【0045】つぎに本実施の形態にかかわる磁気ヘッドの動作について説明する。図4に本発明の一実施の形態であるヘッドと、媒体7の磁化遷移領域41がヘッドの\*

$$R = (M1 \cdot T1) / (Mf \cdot Tf) \quad (1)$$

によってえられる比Rを0.6程度にしたのでフラックスガイドの磁化回転に対する第1の強磁性層31の磁化の影響は小さく、これはフラックスガイド2のみを考慮したばあいと同程度となる。第1の強磁性層31の磁化回転角すなわちフラックスガイドの磁化回転角と反強磁性層34に固定された第2の強磁性層33のお互いの磁化の相対角度に相当した抵抗の変化がえられる。この抵抗変化を利用して、たとえば図2において、一定値のセンス電流を電極8aから電極8bへ流すことにより磁界検出素子3の抵抗変化に対応して電極8aと8bとのあいだの電圧変化として信号をうることができる。

【0046】つぎに、図5に示したように、磁化遷移領域41が長手方向に順次相対的に移動したばあいは、磁化遷移領域41近傍からでた磁束はフラックスガイド2に流入するよりも、一方の磁気シールド（ここでは上磁気シールド12）に直接流入するようになるため、磁界検出素子3における第1の強磁性層31の磁化回転角は小さくなる。すなわち、下ギャップ長4a、上ギャップ長4bが狭いほど磁気ヘッドの長手方向の空間分解能は向上する。一方、いったんフラックスガイドに流入した磁束が磁界検出素子3まで届かず、磁気シールドに抜け出す割合は、下ギャップ長4a、上ギャップ長4bが狭※50

\*フラックスガイド2の直下に来たばあいの側面から見た断面説明図を示す。また、磁化遷移領域41が長手方向に順次相対的に移動したばあいの側面から見た断面図を図5および図6に示す。図4、図5および図6において、7は磁気記録媒体（媒体）であり、41は磁化遷移領域であり、42は磁束の流れ（以下、単に「磁束」ともいう）であり、その他の符号は図1と共通である。また、磁束の流れを示すためにフラックスガイドなどはハッチングを省略して示した。ここで、媒体の磁化方向は、磁化遷移領域41をはさんでN極とN極とが対向するように設定されており、したがって磁束42も磁化遷移領域をはさんで矢印が対向するように図示されている。図4に示したように、磁束42は媒体7からフラックスガイド2に流入して、大部分はフラックスガイド2の摺動面1から遠い側の端面近くまで達し、下磁気シールド11、および上磁気シールド12に抜け、一部はフラックスガイド2の途中から下磁気シールド11、および上磁気シールド12に抜ける。ただし磁束42は矢印の方向と長さで磁束の流れる方向と数の大きさを概念的に示している。フラックスガイド2の各部分は流れる磁束に応じて一定の磁化回転が行われている。磁界検出素子3として用いたGMR素子の感磁部に相当する第1の強磁性層31の磁化はフラックスガイド2の磁化と交換結合により結合させているので、感磁部である第1の強磁性層31ではフラックスガイド2の磁化回転と同程度の磁化回転が起こる。詳しくは後述するが、式(1)：

※いほど大きくなる。

【0047】つぎに本発明の実施の形態1.をより詳細に説明する。図7は、保磁力340kA/m、残留磁化0.42T、媒体厚0.2μmの媒体を用いたばあいのフラックスガイド内の磁束密度の分布を示すグラフである。横軸は（摺動面からの距離）／（ギャップ長）を示しており、縦軸はギャップ長を示している。また、図7の(b)は、図7の(a)のうち、（摺動面からの距離）／（ギャップ長）の0から10までと、磁束密度(T)の0.8から1までとの範囲を拡大して示している。図7においてフラックスガイド高さおよび摺動面からの距離は、いずれもギャップ長で規格化して、フラックスガイド内の磁束密度が示されている。すなわち、フラックスガイド高さをギャップ長で除した値Qをパラメータとし、値Qが10、20、30、40または100となるようにフラックスガイド高さを設定したそれぞれのヘッドにおいて、同様にギャップ長で規格化した、摺動面からの距離を変化させたときフラックスガイド内の磁束密度がどのように変化するかが示されている。ただし、ヘッドと媒体との配置関係は図4に示した配置と同様であり、フラックスガイド2の飽和磁束密度は1T、フラックスガイドの膜厚は10nmである。前述のよう

に摺動面からの距離をギャップ長で除して規格化したのは、後述する図15に示すように、フラックスガイド内の磁束密度を一定とすると摺動面からの距離とギャップ長とは比例の関係にあるためである。図7に示されるように、フラックスガイド中の磁束密度は、規格化した摺動面からの距離1~4で最大である。そのため、磁界検出素子3の配置は、規格化した引き込み高さ21を1、規格化した磁界検出素子高さ22を3以下にするとともに磁束密度が高くなり、したがって再生感度が高くなることがわかる。しかしながら、試作したヘッドの実施の形態では製造精度の都合や要求される信頼性を考慮して、上ギャップ長および下ギャップ長をいずれも0.1  $\mu\text{m}$ とし、引き込み高さ21は0.3  $\mu\text{m}$ 、磁界検出素子高さ22は0.5  $\mu\text{m}$ 程度とした。引き込み高さは摺動面と、磁界検出素子の、摺動面に近い側の端面との距離をあらわしているが、引き込み高さは0.1  $\mu\text{m}$ 以上で、かつ、磁界検出素子と最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えない範囲で定める。

【0048】ここで、0.1  $\mu\text{m}$ と限定する理由は、耐摩耗性の観点以外にも、ヘッドが媒体表面の凹凸中の突起と接触するときに発生する摩擦熱から生じるフラッシュ温度の電磁変換特性に与える影響（以下、サーマルアスぺリティという）が事実上無視できるからである。本実施の形態において試作する磁気ヘッドでは、引き込み高さが0.05  $\mu\text{m}$ では、サーマルアスぺリティによる再生出力の変動が20~50%程度発生するのに対し、引き込み高さが0.1  $\mu\text{m}$ では10%以下となっている。また、前記30倍を超えないと限定する理由は、図7から明らかなように、フラックスガイド高さによらず、30倍以上ではフラックスガイド中を磁束がほぼ通過しないためである。また、規格化したフラックスガイド高さが30のものと、40~100のものを比較すると、規格化した摺動面からの距離が30以下において、同程度の磁束密度分布である。本発明にかかわるヘッドでは、電極8aと8bとのあいだを流れるセンス電流はフラックスガイドにも分流し、全体としての磁気抵抗変化率を低下させるので、この観点からはフラックスガイド高さ20は小さい方が望ましい。このため、試作ヘッドのもとでは、フラックスガイド高さ20は3  $\mu\text{m}$ が最適である。

【0049】実施の形態2。つぎに本発明のヘッドの製法を、試作したヘッドの一例をもとに以下に図を用いて説明する。図8、9、10、11、12、13および14は、本実施の形態にかかわるヘッドの製造工程を示す説明図であり、これらの図において、3bはGMR素子であり、13は基板であり、14は下ギャップであり、15は絶縁膜であり、61はレジスト（フォトリソ）であり、その他の符号は、図1~図7までに示した符号と同一である。なお、以下の図は上面図とその下およびその右にそれぞれ、摺動面からみた断面説明図、側

面から見た断面説明図を同時に示している。

【0050】まず、基板13として絶縁膜に被われたアルミナ・チタン・カーバイド基板（以下、アルチック基板という）に第1の磁気シールドである下磁気シールド11となるCo-Zr-Nb膜を1  $\mu\text{m}$ 、スパッタリング法により成膜し、所定の形状に写真製版技術を用いてエッチングを行い（工程(a-1)）、そののち、下ギャップ14となるアルミナ絶縁膜を0.1  $\mu\text{m}$ 成膜し（工程(a-2)）、磁界検出素子としてGMR素子3bをスパッタリング法で成膜したところを図8に示す。GMR素子3bを形成するため反強磁性層としてNiOを50 nm、第2の強磁性層33としてパーマロイを3 nmおよびCoを1 nm、非磁性層としてCuを2.3 nm、2層からなる第1の強磁性層としてCoを0.5 nmおよびパーマロイを4 nmを順次積層して形成した（工程(a-3)）。またGMR素子3bの上下には保護膜および下地膜（図示せず）を設けた。つぎに、図9に示すごとく磁界検出素子高さ22を形成するためにレジスト61を形成した（工程(a-4)）。つぎに、図10に示すごとく、余剰のGMR素子3bのエッチングを行い、磁界検出素子高さ22を形成した。つぎに、図11に示すごとく、たとえばアルミナからなる絶縁膜15を磁界検出素子の厚さに相当する52 nm程度成膜して磁界検出素子高さを規制した（工程(a-5)）。

【0051】つぎに図12に示すごとくりフトオフ法によりレジスト61を除去し、逆スパッタ法などでGMR素子3bの感磁部である第1の強磁性層と交換結合するように表面を清浄にしたのち、フラックスガイド2としてCo-Zr-Nbを10 nm成膜した（工程(a-6)）。つぎに、図13に示すごとくトラック幅に相当する幅のレジスト62を形成し、電極8aおよび8b用にCuの膜を厚さ150 nm成膜したのち、リフトオフ法でレジストを除去した（工程(a-7)）。つぎに、図14に示すごとく流出高さ23に対応するフラックスガイドの後端を決めるために、レジスト形成、エッチング、レジスト除去を行った（工程(a-8)）。ここでは、流出高さが0.3  $\mu\text{m}$ となるようにした。そののちは、上ギャップ16（図示せず）の形成（工程(a-9)）、第2の磁気シールド膜である上磁気シールド12（図示せず）の形成（工程(a-10)）、記録ヘッドの形成、保護膜の形成、電極引き出し部の形成など（いずれも図示せず）を行い、引き込み高さ21を決めるスライダ加工を行って、試作ヘッドをえた。ここでは引き込み高さ21は0.3  $\mu\text{m}$ とした。

【0052】また、アニールに関してはたとえば工程(a-1)後、下磁気シールド膜の軟磁気特性の向上を図るために、トラック幅方向に直流磁界10,000 A/m程度を印加して350度で行うアニールや、工程(a-8)後、第2の強磁性層の磁化容易軸をヘッド高さ方向にし第1の強磁性層およびフラックスガイドの磁化容易軸を

トラック幅方向にするために、アニール炉中で250℃に昇温しヘッド高さ方向に直流磁界80,000A/m程度を印加して1時間程度保持したのち、170℃にしトラック幅ヘッド高さ方向に直流磁界10,000A/m程度を印加して1時間程度保持するアニールを適宜行った。磁化の方向については、フラックスガイド2および第1の強磁性層31の磁化容易方向はほぼトラック幅方向であり、第2の強磁性層33の磁化容易方向はほぼフラックスガイド高さ方向に設定した、また、磁気シールドに関しても磁化容易方向はほぼトラック幅方向とした。

【0053】この試作したヘッドと、保磁力340kA/m、残留磁化0.42T、媒体厚0.2μm、表面の平均粗さRaが8nmのメタル塗布のフレキシブル媒体とを用いて記録再生特性を測定したところ、サーマルアスペリティーやバルクハウゼンノイズのない安定した出力波形がえられた。

【0054】実施の形態3. つぎに上ギャップ14および下ギャップ16と引き込み高さ21の関係について説明する。図15は磁気シールドとフラックスガイドとのあいだの距離すなわち上ギャップ14および下ギャップ16に対してフラックスガイド内部の磁束密度が0.2Tおよび0.05Tになる摺動面からの距離の関係を示したグラフである。図中、「片側磁気シールド」は磁気シールドが上下いずれか一方のみにあるばあいを示し、「両側磁気シールド」は上下の磁気シールドがフラックスガイドに対して同一の距離にあるばあいをいう。また、フラックスガイド高さ20は10μm、その厚さは10nmとした。同図より、磁気シールドとフラックスガイドとのあいだの距離と、磁束が到達する距離はほぼ比例することがわかる。また、磁気シールドを片側だけにしても、両側に等距離に存在するばあいと顕著な違いはないことがわかる。また、抵抗変化率の20%以上を使えるのは、摺動面からの距離が磁気シールドとフラックスガイドとのあいだの距離の20倍程度までであり、抵抗変化率の5%以上を使えるのは30倍程度までであるから、引き込み高さは磁気シールドとフラックスガイドとのあいだの距離の30倍以下、望ましくは20倍以下とする必要がある。なお、この関係はフラックスガイドの膜厚が5nmから20nmまでの範囲では、ほとんど変化しない。また、フラックスガイドの透磁率は100程度以上あれば、これらの関係が成立する。

【0055】また、図16は、本実施の形態にかかわる磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。図に示した符号は図1に示した符号と共通である。図16に示すように上ギャップおよび下ギャップの両方もしくは片方を摺動面上では狭くし、ヘッド内部では広くすると、高い線記録密度をうるとともに、フラックスガイド2の中の磁束が到達する距離が伸びるので電磁変換特性上は望ましい。

【0056】実施の形態4. つぎにフラックスガイドの流出高さ23について説明する。図17は、引き込み高さ21が0.3μmで、フレキシブル媒体を用いて記録再生特性を測定したばあいの、流出高さ23と再生出力の関係を示したグラフである。横軸は磁界検出素子高さ(GMR高さ)に対する流出高さの比を示しており、縦軸は流出高さがないばあいの再生出力に対する再生出力の比(相対再生出力)を示している。この図17に示した結果によれば、磁界検出素子高さに対する流出高さの比が0.5までは急激に再生出力が向上し、それ以上ではあまり変化しないことがわかる。このことより、流出高さは磁界検出素子高さの2分の1以上あることが望ましいことがわかる。逆に流出高さは磁界検出素子高さの10倍を超えると、センス電流のうちフラックスガイドの流出高さを構成する部分に分流する電流が磁界検出素子に流れる電流より大きくなり、ヘッド全体でみたときの磁気抵抗変化率が著しく低下するので、10倍までの範囲と限定する。なお、同図は引き込み高さ21が0.3μmのばあいを示しているが、引き込み高さが異なった値でも同様の依存性を示し、また、異なった媒体、異なったフラックスガイド膜厚、異なったフラックスガイド透磁率、上下で異なったギャップ長でも同様の依存性を示す。

【0057】実施の形態5. つぎにフラックスガイドと感磁部とについて説明する。本発明のヘッドでは、フラックスガイドの磁化と磁界検出素子の感磁部の磁化は交換結合により結合されているので、磁界検出素子の感磁部直下のフラックスガイドの磁化回転に必要なトルクは、磁界検出素子の感磁部が直下でない部分のフラックスガイドの磁化回転に必要なトルクより大きくなる。すなわち磁界に対する磁化回転の感度は低下する。ただし、この感度低下自体は実用上あまり問題ではなく、むしろ、感磁部の磁気特性がフラックスガイドの磁気特性に影響を与えるので、フラックスガイドの一軸異方性および磁化回転の安定性が損なわれることの方が重要な問題である。この問題点に対しては、感磁部の磁化と膜厚は小さければ小さいほどよい。しかしながら、感磁部が小さくなると、磁気抵抗変化率も小さくなる。

【0058】スパッタ法で成膜した飽和磁化1.1TのCo-Zr-Nb膜を直流磁界中で170℃でアニールすることによって、異方性磁界が15エルステッド、磁化困難軸方向の保磁力が0.1エルステッド以下の一軸異方性膜がえられたので、これをフラックスガイド2に採用することにより、引き込み高さ21が0.3μm、磁界検出素子高さ22が0.5μm、流出高さ23が0.3μmのヘッドを試作した。結果を表1に示す。ただし、磁界検出素子3の構成は、感磁部以外は実施の形態2.と同様である。(M1・T1)/(Mf・Tf)の値が、0.2以上0.7以下で良好なヘッド特性をえた。

【0059】

\* \* 【表1】  
表 1

試料 番号	(飽和磁化)×(膜厚) (Tnm)		(M1・T1) /(Mf・Tf)	相対出力 (%)	出力波形 安定性	特許請求 の範囲内
	感磁部	フラックスガイド				
1	6	13	0.46	100	○	○
2	8	13	0.62	93	○	○
3	10	13	0.77	81	×	
4	4	13	0.31	86	○	○
5	2	13	0.15	17	○	
6	15	20	0.75	54	×	○
7	6	20	0.30	76	○	○
8	4	20	0.20	58	○	○
9	6	7	0.86	102	×	
10	2	7	0.29	63	○	○

【0060】実施の形態6. つぎにフラックスガイド膜厚について説明する。図18は、記録ビット長0.17μmにおけるフラックスガイドの膜厚とヘッドの再生出力との関係を示したグラフである。ただし、ヘッド構成は引き込み高さ21が0.3μm、磁界検出素子高さ22が0.5μm、流出高さ23が0.3μm、シールド間距離210nm、磁界検出素子3は反強磁性層34としてNiOを50nm、第2の強磁性層33としてパーマロイを3nmおよびCoを1nm、非磁性層32としてCuを2.3nm、第1の強磁性層31としてCoを0.5nmおよびパーマロイを4nm順次積層して形成したものであり、そのシート抵抗値は9Ω程度であり、フラックスガイドは組成Co<sub>91.6</sub>Zr<sub>2.5</sub>Nb<sub>5.9</sub>(at%)の膜で構成されている。なお、薄膜の抵抗値Rは、以下の式

$$R = (\text{抵抗率}) \times (\text{長さ}) / (\text{断面})$$

で表わされ、また断面は、以下の式

$$(\text{断面}) = (\text{幅}) \times (\text{厚さ})$$

で表されるので、薄膜の形状が正方形(長さと同幅が等しい)であるとする、(幅) = (長さ)であるから、結局RはR = (抵抗率) / (厚さ)となる。このRで表わされる抵抗値を、いわゆるシート抵抗値という。

【0061】図18に示したフラックスガイドの膜厚と、ヘッドの再生出力との関係より、フラックスガイドの膜厚が20nmを超えると、急激に再生出力は低下する。この理由は、長手方向の分解能の低下だけでなく、フラックスガイド2に分流するセンス電流が増加する効果、およびフラックスガイド2に入った磁束の中で、磁

界検出素子3を通過する前に、下磁気シールド11、および上磁気シールド12に流れる磁束が多くなる効果のためである。また、フラックスガイドの膜厚が5nm未満になると、再生出力が低下するだけでなく、フラックスガイド2の体積と第1の強磁性層31の体積の比率の関係で、フラックスガイド2の磁気特性に第1の強磁性層31の磁気特性の影響が現れ始めるため、バルクハウゼンジャンプが現れるなど、再生出力が不安定になる。したがって、フラックスガイド2の膜厚Tfの好ましい範囲は0.5nm ≤ Tf ≤ 20nmである。

【0062】本実施の形態は、特定のヘッドの寸法、特定の材質について述べたが、引き込み高さ、磁界検出素子高さ、流出高さなどは、請求項3、4、5に記載した条件を満たす範囲であればよい。本実施の形態のばあい、磁界検出素子の材質は、NiO/Ni-Fe/Co/Cu/Co/Ni-Feという、この順に6層に積層された積層膜となっているが、各々色々な組み合わせが考えられる。たとえば、IrMn/Co-Fe/Cu/Co-Fe/Co-Zr-Nbという、5層の積層膜などがある。また、フラックスガイドの材質もたとえばパーマロイやCo系アモルファス(いずれも軟磁性膜)が考えられる。

【0063】実施の形態7. つぎに本発明にかかわる磁気ヘッドの製法の他の実施の形態について説明する。実施の形態2において、NiOを50nm、第2の強磁性層33としてパーマロイを3nmおよびCoを1nm、非磁性層32としてCuを2.3nm、第1の強磁性層31としてCoを0.5nmおよびパーマロイを4nm

## 21

を順次積層したものについて既に述べた。この構成の磁気抵抗変化率は7%程度である。また、シート抵抗値は9Ω程度である。このGMR素子3bとCo-Zr-Nbによるフラックスガイドとの組み合わせにより、良好なヘッド特性をえたことについても既に述べた。しかしながら、反強磁性層34をNiOで構成したばあい、ヘッド形成時に250度を超える高いプロセス温度を用いると、酸素の拡散などの原因により特性劣化が生じるばあいがあることがわかった。そこで、反強磁性層34にMn系のものを用いるばあいについても検討した。

【0064】本発明のヘッドの製法の他の実施の形態を、試作したヘッドの一例をもとに以下に図を用いて説明する。図19、20、21、22および23は、実施の形態7にかかわる磁気ヘッドの製造工程を示す説明図である。図19～23に示した符号は、図1～18に示した符号と共通である。なお、以下の図は上面図とその下およびその右にそれぞれ、摺動面からみた断面説明図、側面から見た断面説明図を同時に示している。

【0065】まず、基板13として、絶縁膜に被われたAl-Ti-C基板上に第1の磁気シールド膜である下磁気シールド11となるCo-Zr-Nbを1μm、スパッタリング法により成膜し、所定の形状に写真製版技術を用いてエッチングを行い(工程(b-1))、そのうち、下ギャップ14となるアルミナ絶縁膜を0.1μm成膜し(工程(b-2))、第1のフラックスガイド2cとしてCo-Zr-Nbを10nmを成膜(工程(b-3))、磁界検出素子としてGMR素子3bを形成するため第1の強磁性層31としてパーマロイを4nmおよびCoを0.5nm、非磁性層としてCuを2.3nm、第2の強磁性層としてCoを1nmおよびパーマロイを3nm、反強磁性層としてIr-Mnを10nmを順次積層した(工程(b-4))ところを図19に示す。またGMR素子3bの上下には保護膜と下地膜も設けた(図示せず)。つぎに、図20に示すごとく磁界検出素子高さ22を形成するためにレジスト63を形成して磁界検出素子高さを規制した(工程(b-5))。

【0066】つぎに、図21に示すごとく、余剰の第1のフラックスガイド2cとGMR素子3bのエッチングを行い、磁界検出素子高さ22を形成した。つぎに、図22に示すごとく、レジスト63を除去せず、第1のフラックスガイド2aと交換結合により磁氣的に結合するように第2のフラックスガイド2dを成膜した。このとき、フラックスガイド2cと2dとは、ほぼ同一の組成および膜厚であることがフラックスガイド内の磁化回転運動におけるピン止め点をつくらないという観点から必要であり、このばあいは連続した膜として機能する。

【0067】つぎに図23に示すごとくリフトオフ法によりレジスト63を除去した(工程(b-6))。以下は実施の形態2の図13以下と同様に、配線膜をリフトオフ法で形成する工程(工程(b-7))、フラックスガイド高

## 22

さを規制する工程(工程(b-8))、第2の絶縁層を形成する工程(工程(b-9))、第2の磁気シールドである上磁気シールドを形成する工程(工程(b-10))を行なってヘッドを作製する。

【0068】また、アニールに関してはたとえば工程(b-1)後、下磁気シールド膜の軟磁気特性の向上を図るために、トラック幅方向に直流磁界10,000A/m程度を印加して350℃で行うアニールや、工程(b-8)後、第2の強磁性層の磁化容易軸をヘッド高さ方向にし第1の強磁性層およびフラックスガイドの磁化容易軸をトラック幅方向にするために、アニール炉中で250℃に昇温しヘッド高さ方向に直流磁界80,000A/m程度を印加して1時間程度保持したのち、170℃にしトラック幅ヘッド高さ方向に直流磁界10,000A/m程度を印加して1時間程度保持するアニールを適宜行う。

【0069】この試作したヘッドと、保磁力340kA/m、残留磁化0.42T、媒体厚0.2μm、平均表面粗さRa8nmのメタル塗布のフレキシブル媒体を用いて記録再生特性を測定したところ、サーマルアスベリティーやバルクハウゼンノイズのない安定した出力波形がえられた。

【0070】実施の形態8。なお、実施の形態7において、フラックスガイドはトラック幅方向に広がっているが、図24に示すように、フラックスガイドの幅を概ねトラック幅9に一致させ、クロストーク特性を向上させてもよい。図24は、本実施の形態8にかかわる磁気ヘッドの下部からみた断面説明図である。図24に示した符号は、本明細書の他の図と共通である。このばあい、電極8aおよび8bもGMR素子3と同様に摺動面から後退させた位置に設けると、摺動面に露出する材料の数が減るので耐摩耗性の観点からヘッドの信頼性が高まる。また、図24では、電極8aおよび8bがフラックスガイドに接触しているが、電極8aおよび8bの間隔をトラック幅9より大きくすることにより、磁界検出素子3のみに接触させると、センス電流の中で磁界検出素子3に流れない無効な電流を減らすことができる。なお、フラックスガイドに図25に示すような中間に非磁性の中間層51を挟んだ軟磁性層の2層52aおよび52bを積層した構造を採用すると、膜端面での静磁界エネルギーが下がるので、磁区構造が安定する。図25は、本実施の形態8にかかわる磁気ヘッドの摺動面からみた断面説明図である。このばあい、2層の全厚がフラックスガイドとしての厚さとなる。

【0071】実施の形態9。また、図26に示すように、フラックスガイド安定層55として、電極8aおよび8bの下にFe-Mn、Ni-Mn、Pb-Mn、Cr-Mnなどの反強磁性層あるいはCo-Cr-Pt、Co-Cr-Taなど、外部磁界によって磁化の向きが容易に変化しないハード磁性材からなるハード磁性層5

23

5aおよび5bを設け、フラックスガイドの磁区の安定を図ってもよい。また、実施の形態8との組み合わせであってもよい。

【0072】実施の形態10. 実施の形態7でえた磁気ヘッドを用いて、表面粗さの異なるメタル塗布のフレキシブル媒体に対して記録再生実験を行った。表面粗さは、媒体の両面を各々5回、接触式表面粗さ計により測定距離5mmで測定した値の平均値を用いて評価し、ここでは測定値とRa(中心線平均粗さ)によって表わしている。図27は媒体の表面粗さと、摺動痕深さおよび再生出力が孤立波の半分になる波長 $\lambda_{50}$ との関係を示す。実験条件はヘッドと媒体との相対速度5m/s、ヘッドサスペンションの荷重は5gf程度とした。この図より、平均表面粗さRaが10nm以下においては、ほぼ一定の $\lambda_{50}$ となること、最大摺動痕深さが5nm程度になることがわかる。最大摺動痕深さが10nm程度であると、数万時間の使用でもヘッド磨耗は100nm程度に収まる。高密度記録を実現し、かつ信頼性を確保するには媒体の平均表面粗さRaは10nm以下であることがよい。また、この条件はヘッド表面にダイヤモンドライクカーボンなどの保護膜を形成すると、媒体の平均表面粗さRaが10nm以下では、より長寿命となるが、媒体の平均表面粗さRaが10nmより大きいと直ちに剥離が起きるため効果がないばかりか、媒体を傷つけるばあいがある。また、逆に媒体の平均表面粗さRaが0.1nm以上でないとヘッドと媒体の吸着が非常に発生しやすくなり、何らかの要因で媒体の回転数の変動、もしくは停止などの障害が起きたばあい、ヘッドと媒体が離れず、サスペンションが変形するなど致命的な損傷が発生するばあいがある。以上によって、媒体の平均表面粗さRaの好ましい範囲は0.1nm以上10nm以下である。

【0073】また、相対速度、サスペンションの荷重については異なる値を用いても、ほぼ同様の依存性を示す。ただし、ヘッドと媒体とのあいだを100nm以上にかなり大きくとると、平均表面粗さRaが10nm以上でもヘッド磨耗は小さくなる。ただし、このばあいスペーシングが大きいので、線記録密度が大きくならない。また、完全に接触状態にすると、同一の媒体の平均表面粗さRaでは、最大摺動痕深さが2~5倍となりヘッドの磨耗深さも同様である。

【0074】実施の形態11. なお、以上の実施の形態において、磁気ヘッドは再生に関わる部分のみについて示しているが、上磁気シールド12上に記録ヘッドを設けるのが通常である。図28は、本実施の形態にかかわる磁気ヘッドの側面からみた断面説明図であり、図29および図30は、本実施の形態にかかわるそれぞれさらに他の磁気ヘッドの側面からみた断面説明図である。図28、図29および図30において、71は記録ヘッドの下コアであり、72は上コアであり、73は記録ヘッ

24

ドの磁気ギャップであり、74は再生ヘッドと記録ヘッドとを分離する非磁性の分離層であり、75は記録ヘッドのコイルであり、その他の符号は図1と共通である。記録ヘッドは、図28に示すように、上磁気シールド12が記録ヘッドの下コアを兼ねるマージ型ヘッドであってもよいし、図29に示すように、記録ヘッドと再生ヘッドの磁気的な干渉を避けるために上磁気シールド12上に非磁性層74を介して記録ヘッド用の上コア72および下コア71を形成してもよい。また、図30に示すように、記録ヘッドが再生ヘッドの下にあり、プロセス上で先に形成するものであってもよい。このばあい、磁界検出素子の耐熱性を考慮することなく記録ヘッドのプロセスを組むことができる。記録ヘッドに関しては、いかなる材質、形状であってもよいが、上下コアともCo系アモルファスで形成すると、周辺のアルミナなどでなる非磁性層とのあいだに偏磨耗段差がほとんど生じないので、実効スペーシングの増加による記録特性の低下がなく、良好な結果をえた。

【0075】実施の形態12. また、以上の実施の形態において、特定の材質、特定の寸法、たとえばフラックスガイドとGMR素子の上下関係などの特定の形状についてのみ示しているものもあるが、フラックスガイドはCo-Zr-Ni-MoなどCo系アモルファスであり、膜厚も5~20nmの範囲であればよく、またそれ以外のNi-Fe-Rhなどの結晶質の軟磁性材料や膜厚であっても、それぞれ実施の形態5、6以外においては制限されるものではない。また、以上の実施の形態ではGMR素子3bとしては、その仕事関数が非磁性層32のCuの仕事関数に近く、仕事関数の違いで界面散乱が起きるのを低減し、また拡散が起きにくくできるため、Cuの前後をCoとしているが、Fe-Co系やFe-Ni系、Co-Ni系など他の強磁性体であってもよい。また、第2の強磁性層33はCo単層であってもよく、また異なる強磁性体であってもよい。また、反強磁性層に関しては、Fe-Mn、Ni-Mn、Pb-Mn、Cr-MnなどMn系や、 $\alpha$ -酸化鉄などであってもよく、また第2の強磁性層の磁化が信号により回転することがなければ、反強磁性層を用いなくてもよい。

【0076】また、磁気シールドや基板、絶縁膜など所定の特性がえられれば、材料に制限はない。たとえば、下磁気シールド11に関しては、高温プロセスを用いることができるため、センダストやFe-Ta-N、Fe-Zr-N、Fe-Nなど磁気特性をえるために高温のアニールが必要なものについても、適用が容易である。また、磁気シールド11または12では各種のメッキ膜を用いてもよい。また、絶縁膜に関しては、二酸化珪素や窒化珪素などを用いてもよい。また、基板に関しては、磁気ヘッドを形成するときに、成膜された磁性膜や絶縁膜の膜応力で基板が反らないようにヤング率が大きいものが好ましく、その材料の例としてはチタン酸カル



シウム、チタン酸バリウム、チタン酸カリウム、フォルステライトなどであってもよく、またセラミック以外でも、単結晶シリコンなどの単結晶基板他の材料であってもよい。

【0077】さらに、用いた媒体の磁気特性や媒体厚は他の値のものでもよく、磁性層はメタル塗布以外にも、酸化鉄、コバルト-酸化鉄、バリウム-フェライトなど他の材質であってもよい。

【0078】また、以上の実施の形態においては、磁界検出素子はスピンバルブ構造のGMR素子であったが、たとえば感磁部がパーマロイで構成されるMR素子であってもよい。MR素子のばあい、横バイアスが必要であるが、横バイアスの印加方法は、たとえば近接部に軟磁性膜を配置するSALバイアス、シャントバイアス、別途バイアス線を設ける電流バイアスなどいずれであってもよい。また感磁部がフラックスガイドと交換結合により磁氣的に結合できる磁界検出素子であれば、たとえば極薄の絶縁膜を介して2つの強磁性膜があり、その2つの強磁性膜の各々の磁化の方向の相対角度によりトンネル電流量が変化するため、抵抗変化率を20%以上にする

ことができるTMR素子などのいずれの磁界検出素子であってもよい。

【0079】このようにして作製した媒体と、実施の形態1から11にかかわるヘッドとを用いて磁気記録装置を作製することができる。磁気記録装置としては、ディスク装置、テープ装置などで磁気記録装置ごとに構成が異なるが、ディスク装置のばあい、本発明のもののほかに従来と同様に機構系としては、媒体を回転させるために、スピンドルモーターおよびその軸受け、媒体を固定するクランプなどを用い、ヘッドの位置決め、固定を行うために、アクチュエータ、アーム、サスペンションなどを用い、また電気系としては、機構系の制御回路、記録信号を変調し記録電流を発生させ、またヘッドからの信号を増幅、復調する電磁変換系回路、たとえばコンピュータと信号をやりとりするための入出力回路、それらに電気を供給する電源回路などを用い、さらにケース、ばあいによっては、ケース内を空冷するためのファンなどを用いて、組立、実装することによって作製する。テープ装置のばあいは、前述した構成とほぼ同様であるが、機構系が異なり、テープ送り系やヘッド回転系などで構成され、また電気系としてもロータリートランスなどを有している。

【0080】本実施の形態にかかわる磁気記録装置においては、磁気シールドを有し、フラックスガイドがヘッド高さ方向に磁界検出素子よりも高い位置まで連続し、磁界検出素子の感磁部がフラックスガイドに交換結合で磁氣的に結合したヘッド構成により、さらに望ましくは、フラックスガイドの引き込み高さが0.1μm以上、磁界検出素子と磁気シールドのあいだの距離の30倍以下というヘッドの構成により、媒体としてその平均

表面粗さRaが0.1nm以上10nm以下のものを好適に使用することができ、耐摩耗性が良好で信頼性が高いので長寿命となるという効果を奏する。

【0081】

【発明の効果】本発明は以上説明したように構成されているので、以下に示すような効果を奏する。

【0082】本発明の請求項1にかかわる磁気ヘッドにおいては、(1)前記強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化を磁氣的に結合されており、かつ、(2)前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続しているのでフラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入でき、かつフラックスガイドの、信号磁界に応じた磁化の回転と磁界検出素子の感磁部の磁化の回転を直接的に結合できるため、高感度で高効率かつ、耐摩耗性にすぐれたヘッドをうることができる効果を奏する。

【0083】本発明の請求項2にかかわるヘッドは、前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁氣的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続しているため、感磁部に相当する強磁性体層にフラックスガイドを直接的に結合できるため、高出力のヘッドをうることができる効果を奏する。また、磁界検出素子をTMR素子としたばあいでも、磁界検出素子やフラックスガイドについて、同じ特徴や効果がえられるとともにGMR素子よりも大きな抵抗率がえられるのでさらに高出力のヘッドがえられる。

【0084】本発明の請求項3にかかわるヘッドは、磁界検出素子の端部とヘッド摺動面の距離が0.1μm以上あることにより、耐摩耗特性に優れたヘッドがえられるとともに、該距離が上下の磁気シールドのもっとも近接している部分との距離の30倍を超えないことにより、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、高効率で高感度のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0085】本発明の請求項4にかかわるヘッドは、フラックスガイドの磁気ヘッド摺動面の反対側の端面と磁界検出素子の磁気ヘッド摺動面から遠い側の端面との距離が、磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離である磁界検出素子高さの1/2以上10倍以下であることにより、フラックスガイドの磁界検出素子に交換結合により磁氣的に結合している部分まで、効率よく信号磁界に対応した磁束を導くことができるため、高効率で高感度のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0086】本発明の請求項5にかかわるヘッドは、 $(M1 \cdot T1) / (Mf \cdot Tf)$  が、0.2以上かつ

27

0.7以下にしたことにより、フラックスガイドの磁区の制御が容易であり、再生感度が高く、ノイズが小さいヘッドをうることができる効果を奏する。

【0087】本発明の請求項6にかかわるヘッドは、フラックスガイドの膜厚が0.5nm以上であることにより、フラックスガイドの磁気抵抗を減少させるとともに軟磁気特性の安定化ができ、フラックスガイドの膜厚が20nm以下であることにより、フラックスガイドのシート抵抗を増大させることができるので、フラックスガイドに分流するセンス電流を減少させ、高効率で高感度のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0088】また、本発明の請求項7にかかわる磁気記録装置においては、磁気記録媒体がフレキシブル媒体であり、前記磁気記録媒体の磁性層は磁性粒子とそれを保持するバインダーを具備しており、前記磁気記録媒体の平均面粗さが0.1nm以上10nm以下である磁気記録媒体と、軟磁気特性を有したフラックスガイドと前記フラックスガイドの上下に非磁性層を介してそれぞれ上磁気シールドおよび下磁気シールドを具備し、前記フラックスガイド、上磁気シールドおよび下磁気シールドの端部が磁気ヘッドの摺動面の一部を成し、前記フラックスガイド膜が記録信号に対応した磁束をヘッド摺動面より離れた位置にある磁界検出素子に導く磁気ヘッドにおいて、磁界検出素子の感磁部が前記フラックスガイドの一部分に積層され交換結合により磁気的に結合し、かつ前記フラックスガイドはヘッド摺動面の法線方向と一致するヘッド高さ方向に対し、磁界検出素子より高い位置まで連続させたヘッドを用いることにより、ヘッドと媒体との接触、摺動による機械的、熱的損傷を防ぎ、また高感度ヘッドと媒体との磁気的空隙が小さくできるので、高い記録密度を有する磁気記録装置をえ、かつ製造の容易な磁性層を塗布したフレキシブル媒体を用いているので、安価な磁気記録装置をうることができる。

【0089】本発明の請求項8にかかわる磁気記録装置においては、前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続しているため、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入でき、かつフラックスガイドの、信号磁界に応じた磁化の回転と磁界検出素子の感磁部の磁化の回転を直接的に結合できるため、高効率のヘッドをうることができフラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、安価な磁気記録装置において高効率のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0090】本発明の請求項9にかかわる磁気記録装置

28

においては、前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が0.1μm以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えないので、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、安価な磁気記録装置において高効率のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0091】本発明の請求項10にかかわる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の1/2以上10倍以下であるので、安価な磁気記録装置において高効率のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0092】本発明の請求項11にかかわる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の飽和磁化をMf、膜厚をTfとし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化をM1、膜厚をT1としたとき、 $0.2 \leq (M1 \cdot T1) / (Mf \cdot Tf) \leq 0.7$ であるので、フラックスガイドの磁区の制御が容易であり、安価な磁気記録装置において再生感度が高く、ノイズが小さいヘッドをうることができる効果を奏する。

【0093】本発明の請求項12にかかわる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の膜厚Tfが0.5nm  $\leq$  Tf  $\leq$  20nmであるので、フラックスガイドの磁気抵抗を減少させるとともに軟磁気特性の安定化ができ、フラックスガイドの膜厚が20nm以下であることにより、フラックスガイドのシート抵抗を増大させることができるので、フラックスガイドに分流するセンス電流を減少させ、安価な磁気記録装置において高効率なヘッドをうることができる効果を奏する。

【0094】本発明の請求項13にかかわる磁気記録装置においては、磁気記録媒体の平均表面粗さが0.1nm以上10nm以下であるので、安価な磁気記録装置をうることができるという効果を奏する。

【0095】また、本発明の請求項14にかかわる磁気ヘッドの製法は、磁界検出素子高さを規制する工程、磁界検出素子高さを規制に用いたレジストを残したまま第2の絶縁膜を形成し、そののちにリフトオフする工程を施したのちに、フラックスガイドを形成する工程、配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、フラックスガイド高さを規制する工程を行うことにより、磁界検出素子の感磁部が前記フラックスガイドの一部分に積層され交換結合により磁気的に結合し、かつ前記フラックスガイドはヘッド摺動面の法線方向と一致するヘッド高さ方向に対し、磁界検出素子より高い位置まで磁気的に連続したヘッドを容易に製造することができる。

【0096】また、本発明の請求項15にかかわる磁気ヘッドの製法は、第1のフラックスガイドを形成する工

程、磁界検出素子を積層する工程を行い、磁界検出素子高さを規制する工程、磁界検出素子高さを規制に用いたレジストを残したまま第2のフラックスガイドを形成し、そののちにリフトオフする工程、配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、磁束案内膜高さを規制する工程を行うことにより、磁界検出素子の感磁部が前記フラックスガイドの一部分に積層され交換結合により磁氣的に結合され、かつ前記第1および第2のフラックスガイドはヘッド摺動面の法線方向と一致するヘッド高さ方向に対し、磁界検出素子より高い位置まで連続したヘッドを容易に製造することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1にかかわる磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図2】 本発明の実施の形態1にかかわる磁気ヘッドの下部から見た断面説明図である。

【図3】 本発明の実施の形態1にかかわるスピンバルブ構造のGMR素子の断面説明図である。

【図4】 本発明の実施の形態1にかかわる磁気ヘッドと媒体の磁束の流れである。

【図5】 本発明の実施の形態1にかかわる磁気ヘッドと媒体の磁束の流れである。

【図6】 本発明の実施の形態1にかかわる磁気ヘッドと媒体の磁束の流れである。

【図7】 本発明の実施の形態1にかかわるフラックスガイド中の磁束密度分布である。

【図8】 本発明の実施の形態2にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図9】 本発明の実施の形態2にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図10】 本発明の実施の形態2にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図11】 本発明の実施の形態2にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図12】 本発明の実施の形態2にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図13】 本発明の実施の形態2にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図14】 本発明の実施の形態2にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図15】 本発明の実施の形態3にかかわるフラックスガイド中の磁束密度がある値の時の上下のギャップ長と摺動面からの距離の関係を示す図である。

【図16】 本発明の実施の形態3にかかわる磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図17】 本発明の実施の形態4にかかわるフラックスガイドの流出高さと再生出力の関係を示す図である。

【図18】 本発明の実施の形態6にかかわるフラックスガイドの膜厚と再生出力の関係を示す図である。

【図19】 本発明の実施の形態7にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図20】 本発明の実施の形態7にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図21】 本発明の実施の形態7にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図22】 本発明の実施の形態7にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図23】 本発明の実施の形態7にかかわる製造工程を示す説明図である。

【図24】 本発明の実施の形態8を示す磁気ヘッドの下部から見た断面説明図である。

【図25】 本発明の実施の形態9を示す磁気ヘッドの摺動面から見た断面説明図である。

【図26】 本発明の実施の形態9にかかわるフラックスガイドの断面説明図である。

【図27】 本発明の実施の形態10にかかわる媒体の面粗さと摺動痕深さおよび再生出力が孤立波の半分になる波長 $\lambda_{50}$ の関係を示す図である。

【図28】 本発明の実施の形態11を示す磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図29】 本発明の実施の形態11を示す磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図30】 本発明の実施の形態11を示す磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図31】 従来のフラックスガイド型MRヘッドの側面から見た断面説明図である。

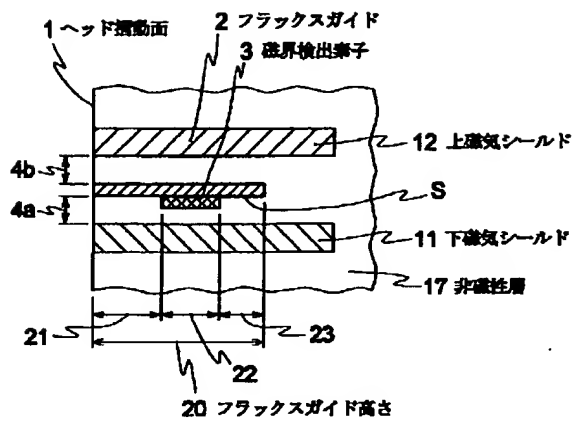
【図32】 従来のフラックスガイド型MRヘッドの上面から見た断面説明図である。

【図33】 従来のフラックスガイド型MRヘッドの上面から見た断面説明図である。

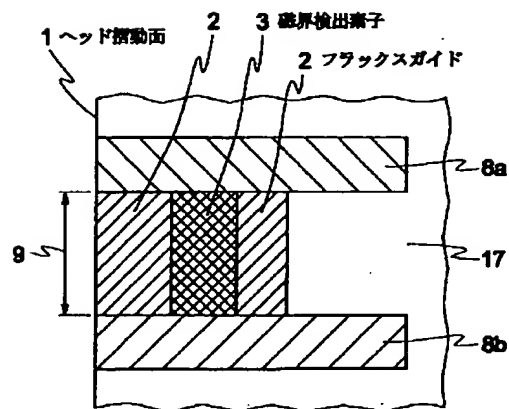
#### 【符号の説明】

1 ヘッド摺動面、2, 2a, 2b, 2c, 2d フラックスガイド、3 磁界検出素子、3a MR素子、3b GMR素子、4a, 4b フラックスガイドと磁気シールドとの距離、5a, 5b フラックスガイドとMR素子3との磁気ギャップ、7 磁気記録媒体、8a, 8b 電極、9 トラック幅、11 下磁気シールド、12 上磁気シールド、13 基板、14 下ギャップ、16 上ギャップ、17 非磁性層、20 フラックスガイド高さ、21 引き込み高さ、22 磁界検出素子高さ、23 流出高さ、31, 31a, 31b 第1の強磁性層、32 スペース、33, 33a, 33b 第2の強磁性層、34 反強磁性層、41 磁化遷移領域、42 磁束の流れ、S 主面。

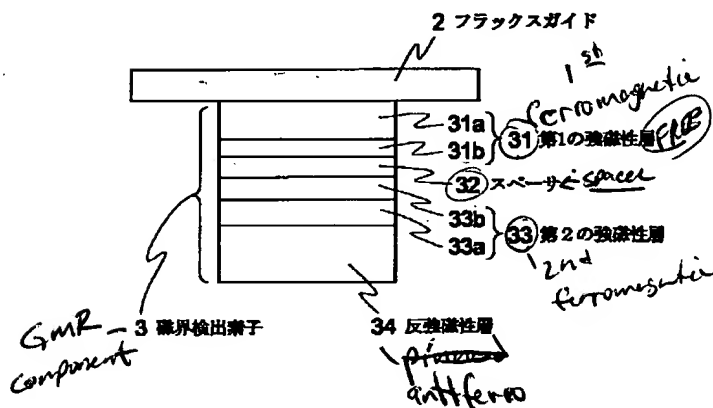
【図1】



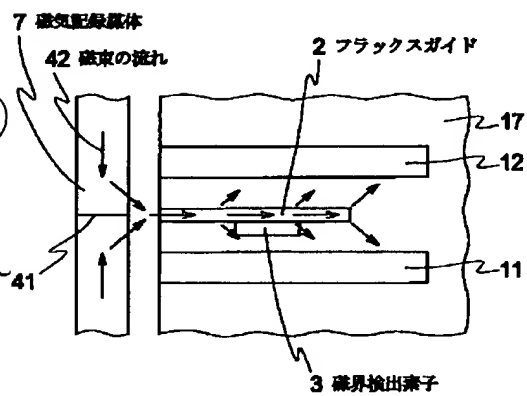
【図2】



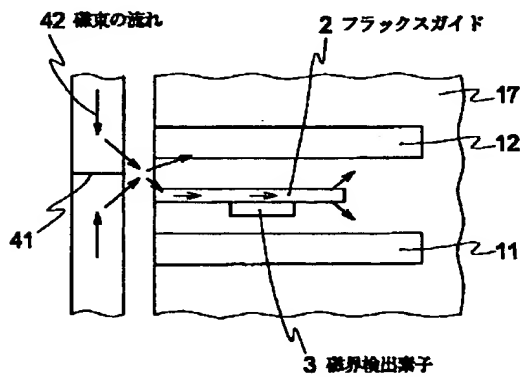
【図3】



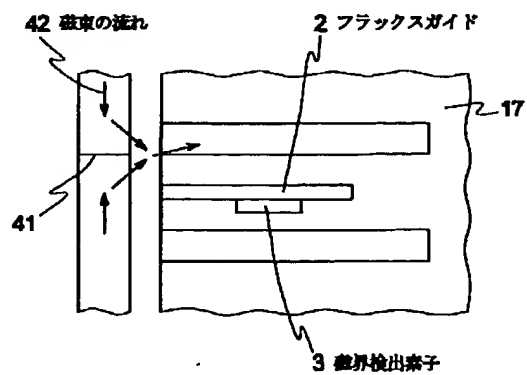
【図4】



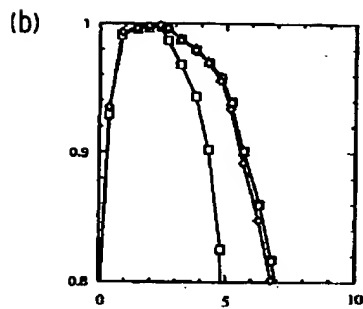
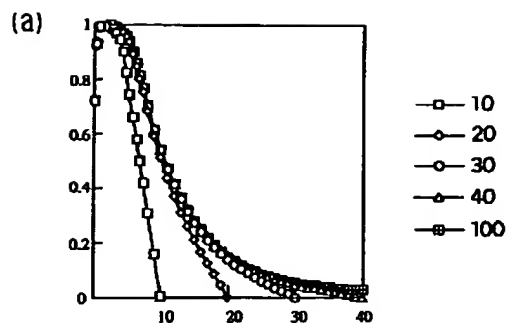
【図5】



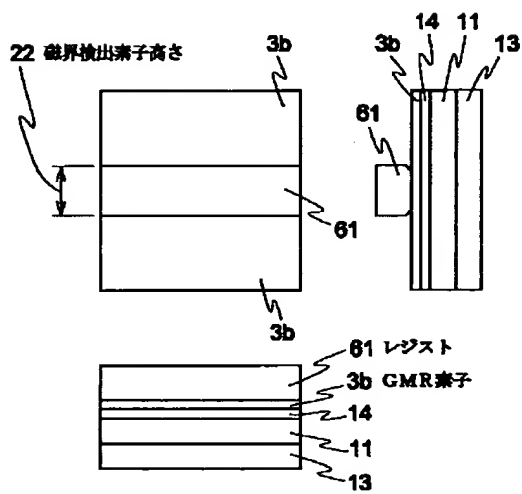
【図6】



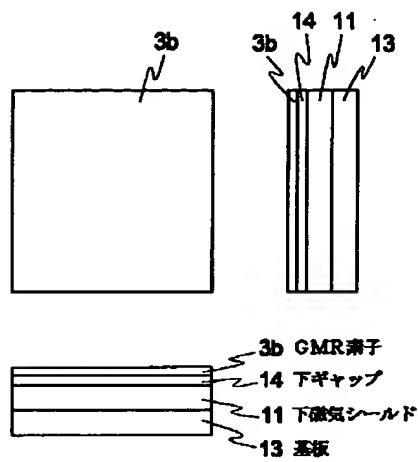
【図7】



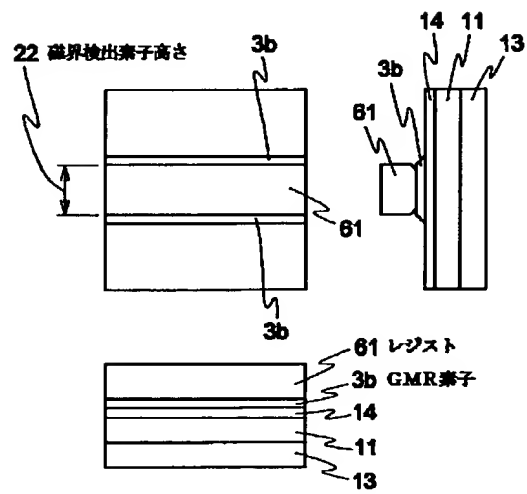
【図9】



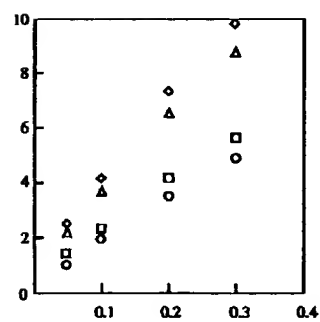
【図8】



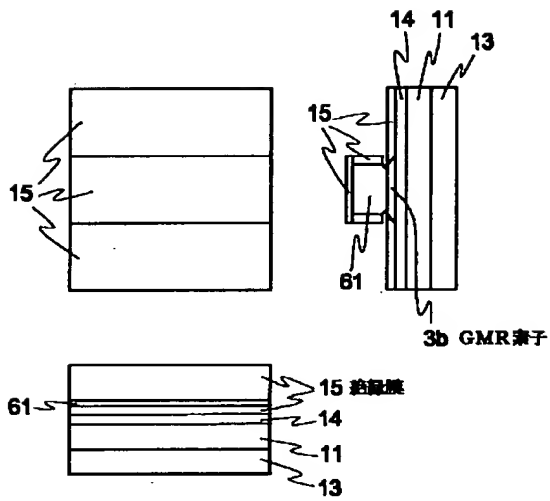
【図10】



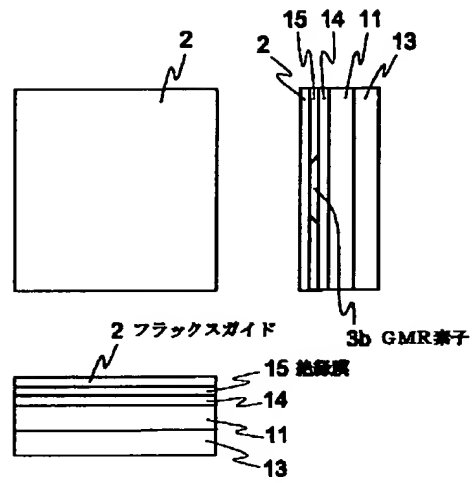
【図15】



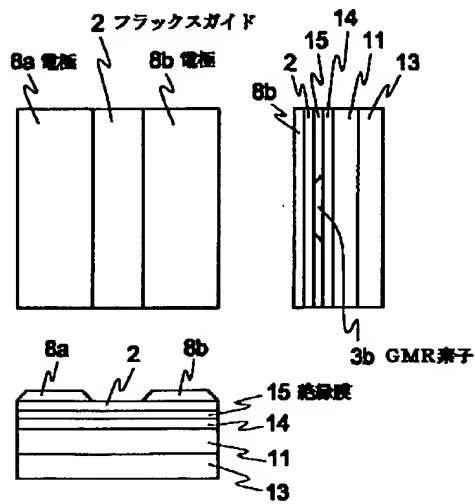
【図11】



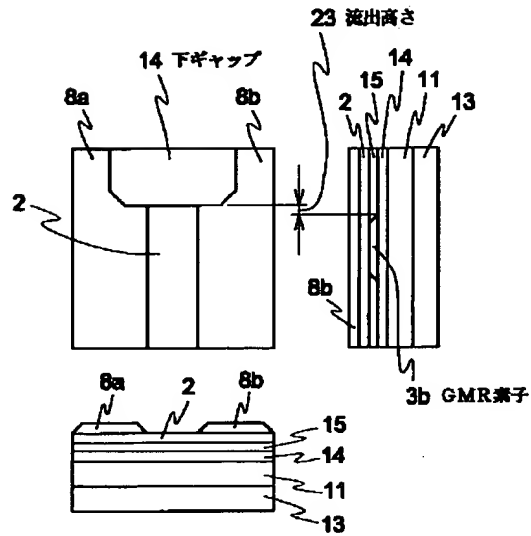
【図12】



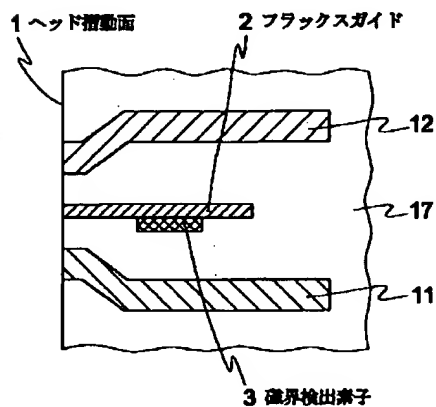
【図13】



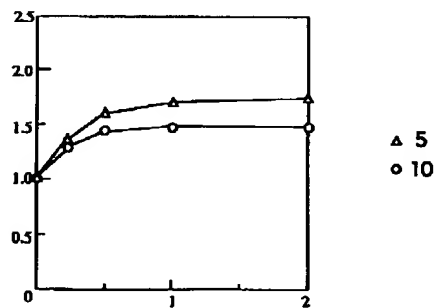
【図14】



【図16】

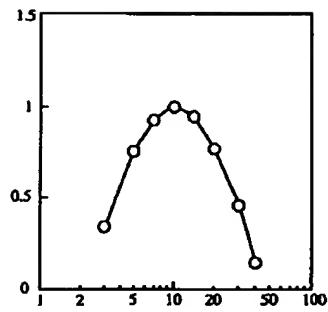


【図17】

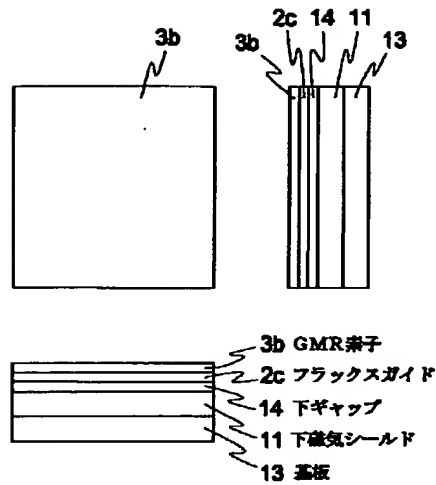




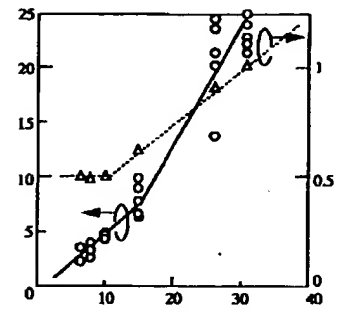
【図18】



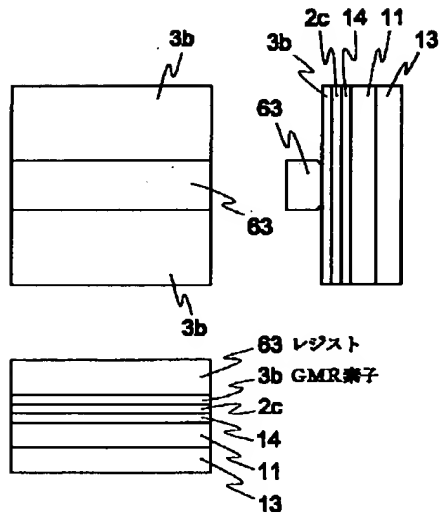
【図19】



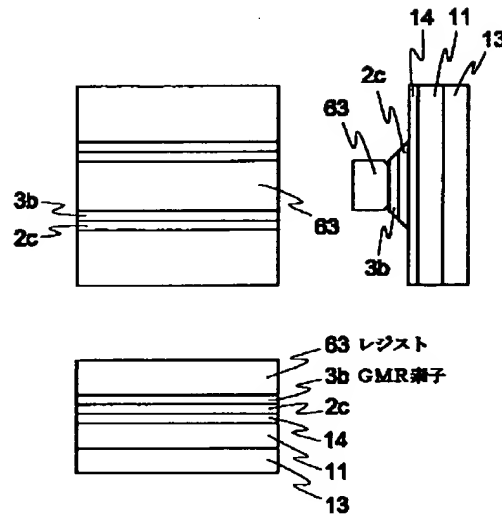
【図27】



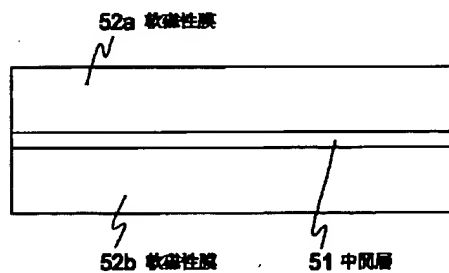
【図20】



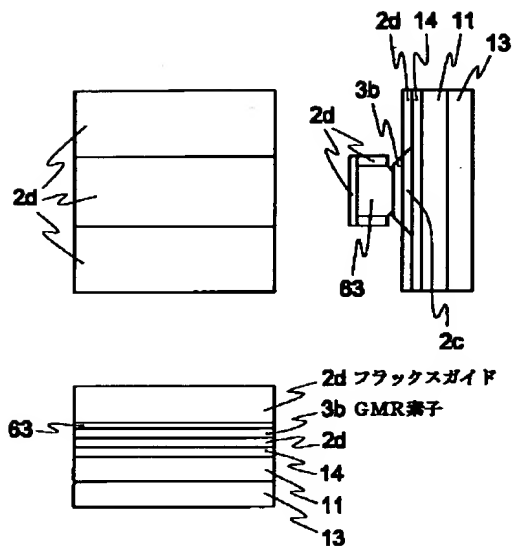
【図21】



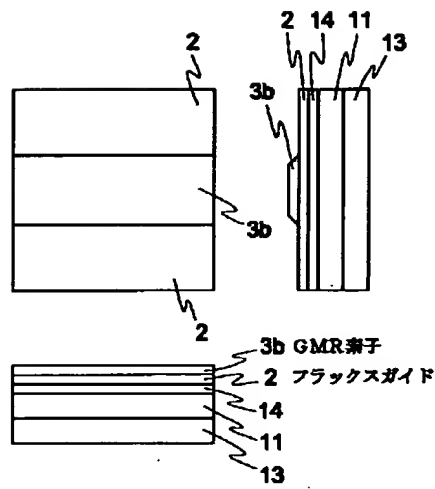
【図25】



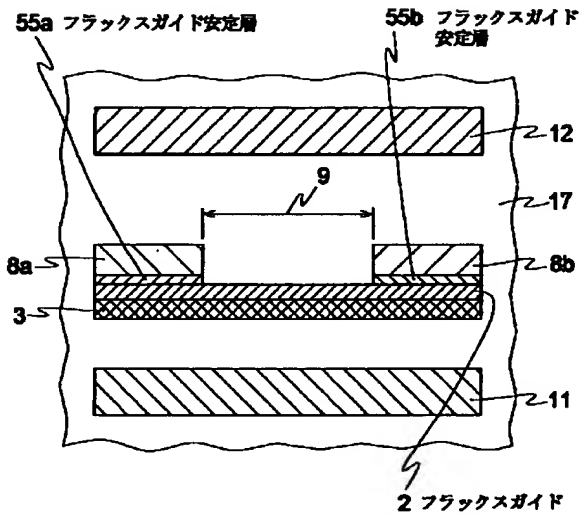
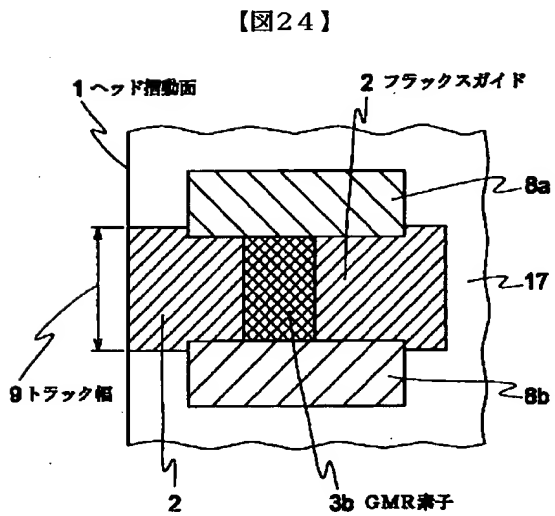
【図22】



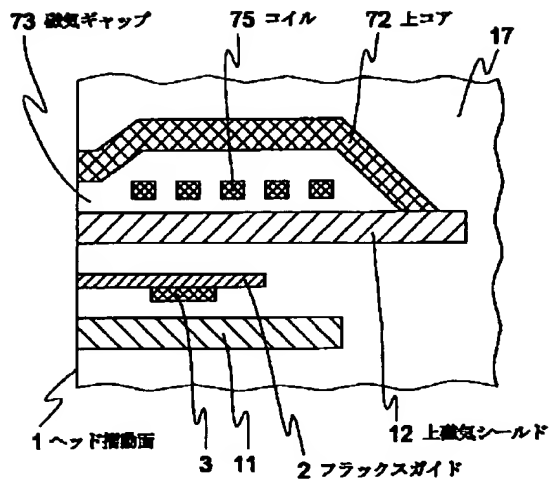
【図23】



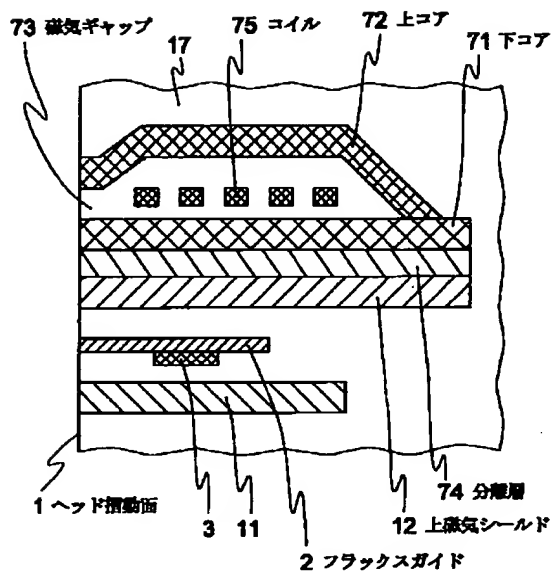
【図26】



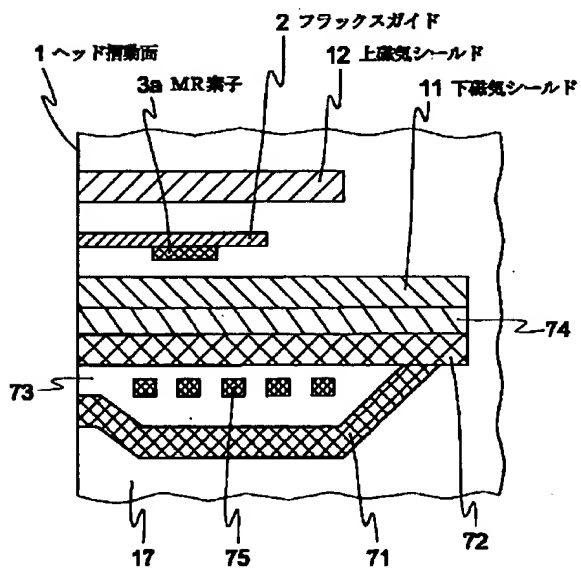
【図28】



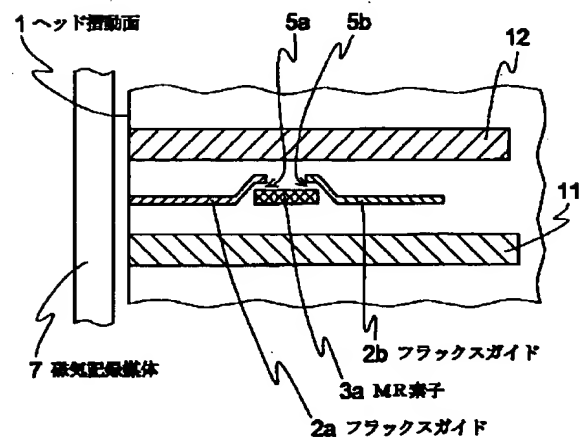
【図29】



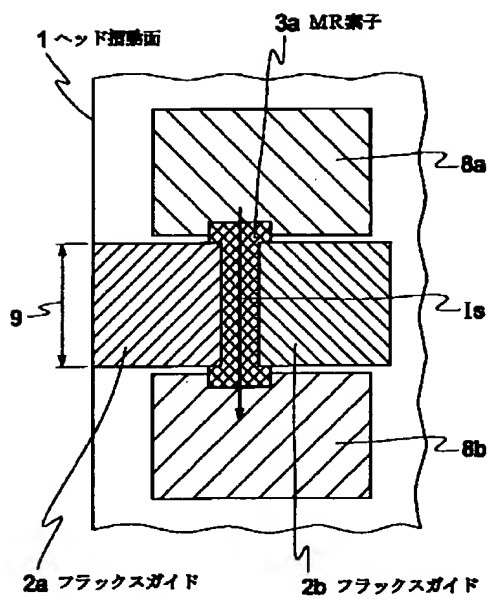
【図30】



【図31】



【図32】



【図33】

